This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

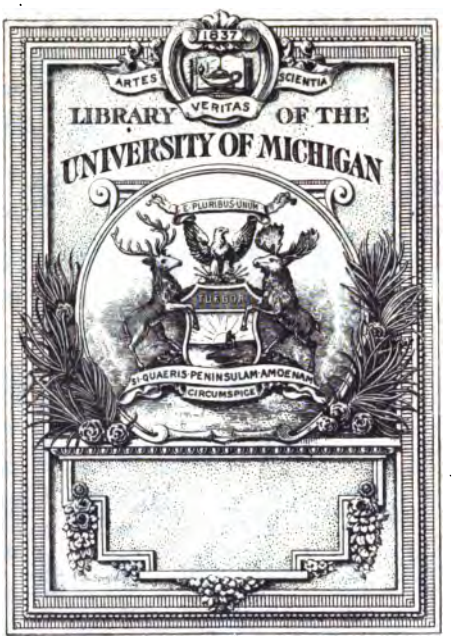
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

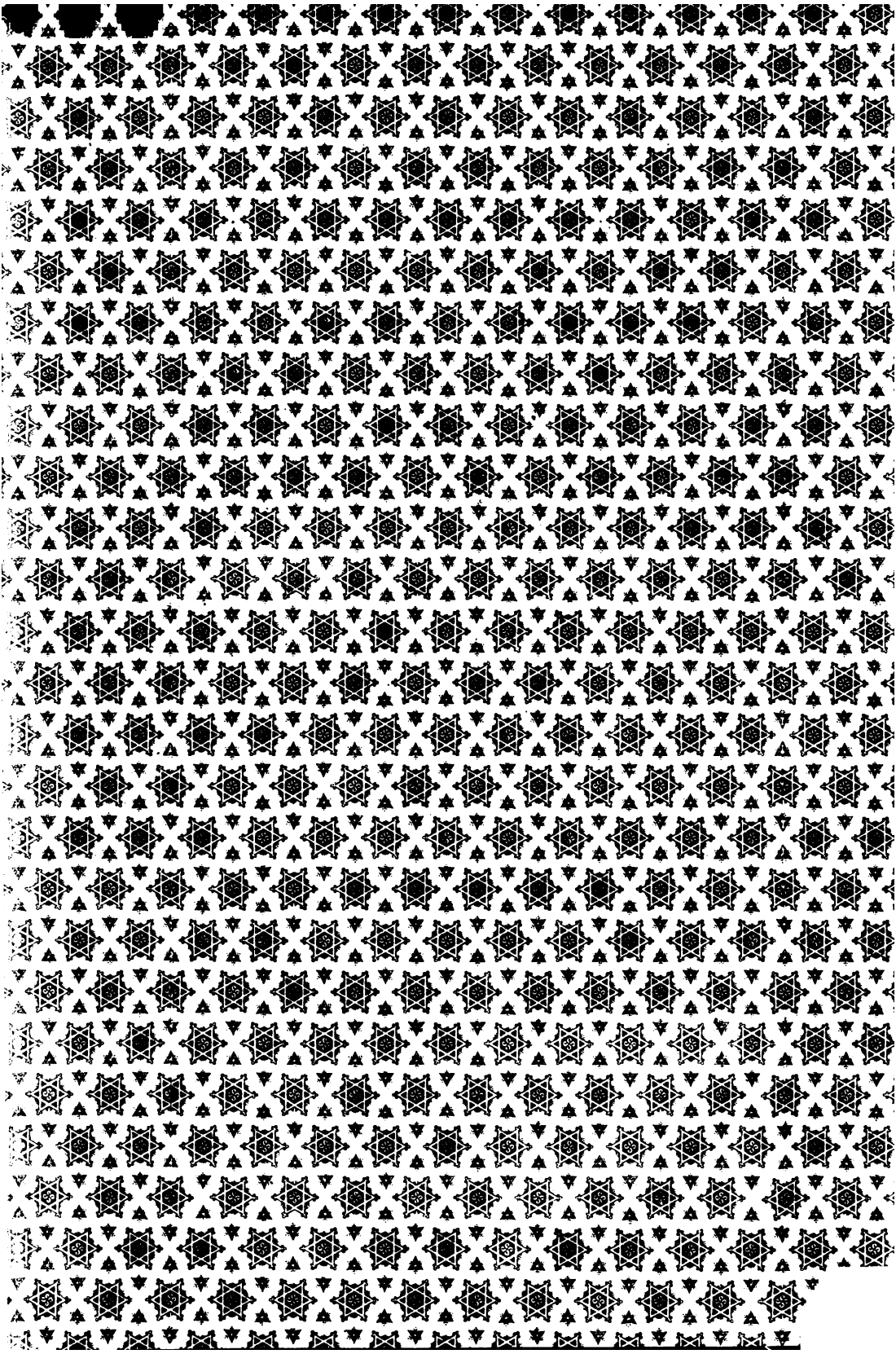
+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

A 814,750


ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



BF
241
.N15

DAS

SEHEN MIT ZWEI AUGEN

UND

81239

DIE LEHRE

VON DEN

IDENTISCHEN NETZHAUTSTELLEN

VON

Dr. ALBRECHT NAGEL,
Privatdocenten der Universität in Bonn.

Mit 4 lithographirten Tafeln und 37 in den Text gedruckten Holzschnitten.

LEIPZIG UND HEIDELBERG.
C. F. WINTER'SCHE VERLAGSHANDLUNG.
1861.

Seinen hochverehrten Lehrern

H. Helmholtz und A. v. Gräfe

in Hochachtung und Dankbarkeit

gewidmet.

Inhalt.

	pag.
Literatur	1
Einleitung	2
Erstes Capitel. Zur Perspective der Netzhautbilder	5
Zweites Capitel. Vorbemerkungen über das Binocularsehen	12
Drittes Capitel. Die stereoskopischen Erscheinungen	19
Viertes Capitel. Historischer Rückblick auf die Ansichten über die Tiefenwahrnehmung	82
Fünftes Capitel. Doppeltsehen mit zwei Augen	88
Sechstes Capitel. Die Lehre von den identischen Netzhautstellen	146
Siebentes Capitel. Die Horopterlehre	159
Achtes Capitel. Schlusswort über die räumlichen Gesichtswahrnehmungen	173

DAS

SEHEN MIT ZWEI AUGEN.

Angabe der Werke und Abhandlungen, welche im Folgenden wiederholt citirt werden.

Francisci Aguilonii, Opticorum libri sex. Antverpiae MDCXIII.

Vieth, Ueber die Richtung der Augen in Gilbert's Annalen. Band 58. pag. 241.

Charles Wheatstone, Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes. Erster Theil in Poggendorff's Annalen der Physik. Ergänzungsband pag. 1 (1842).

Ernst Brücke, Ueber die stereoskopischen Erscheinungen und Wheatstone's Angriff auf die Lehre von den identischen Stellen der Netzhäute, im Archiv für Anatomie. 1841. pag. 459.

Georg Meissner, Beiträge zur Physiologie des Sehorgans. Leipzig 1854.

H. Helmholtz, Das Telestereoskop, in Poggendorff's Annalen der Physik. Band 102. pag. 167 (1857).

P. L. Panum, Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen. Kiel 1858.

Joseph Ritter von Hasner, Ueber das Binocularsehen. Abhandl. d. königl. böhm. Gesellsch. d. Wissensch. V. Folge. 10. Band. 1859.

A. W. Volkmann, Die stereoskopischen Erscheinungen in ihren Beziehungen zu der Lehre von den identischen Netzhautpunkten, im Archiv f. Ophthalmologie V. 2. pag. 1 (1859).

F. v. Recklingshausen, Netzhautfunctionen im Archiv f. Ophthalmologie. V. 2. pag. 127 (1859).

A. v. Graefe, Beiträge zur Physiologie und Pathologie der schiefen Augenmuskeln, im Archiv f. Ophthalm. I. 1. pag. 1 (1854).

Derselbe: Ueber das Doppelsehen nach Schiel-Operationen und Incongruenz der Netzhäute, im Archiv f. Ophtalm. I. 1. pag. 82 (1854).

Alfred Graefe, Klinische Analyse der Motilitätsstörungen des Auges. Berlin 1858.

Seit geraumer Zeit stehen wichtige Theile der Physiologie und Pathologie des Sehorgans unter dem tiefeingreifenden Einflusse der Hypothese von der Identität der Netzhäute. Es knüpfen sich berühmte Namen an dieselbe, ihre Entwickelung und Ausbildung fällt in eine Zeit mächtigen Aufschwunges in der Physiologie des Sehens. Allein die Lehre von den identischen Netzhautstellen bezeichnet nur ein Entwickelungsstadium. So fruchtbringend und anregend die Hypothese ihrer Zeit gewirkt haben mag, so genügt sie doch den Thatsachen, wie wir sie heute kennen, nicht. Ihre Unzulänglichkeit und Unrichtigkeit, sowie ihre schädliche Einwirkung auf die heutige Ophthalmologie darzuthun, ist der Zweck dieser Abhandlung.

Seit der Erfinder des Stereoskops, auf seine interessanten heute aller Welt bekannten Versuche gestützt, zum ersten Male an dem alten Dogma gerüttelt, hat unter den Physiologen kaum Einer ihm beizustimmen gewagt und bis diesen Augenblick hat das Gesetz der Identität eine so allgemeine Anerkennung wie nur eins im Gebiete der Physiologie. Die Discussion gegen Wheatstone hat sich bis auf die neueste Zeit fortgesponnen und noch ganz vor Kurzem hat sich Volkmann, dem die Lehre vom Sehen so viel verdankt, zur Vertheidigung der Identität erhoben. „Hätte Wheatstone Recht," sagt er, „so drohte der Lehre vom Sehen ein völliger Umsturz; denn man braucht sich nur der vortrefflichen Untersuchungen Joh. Müller's über die identischen Netzhautpunkte und deren Lagerung zu erinnern, um einzusehen, dass mit dem Preisgeben der Identitätslehre auch die Lehre von den Doppelbildern, vom Horopter, und von der scheinbaren Distanz zweier Bilder im Sehfeld zusammenstürzen, also gerade diejenigen Lehren, welche sich auf exacte, nämlich durch Maasse und Zahlen controllirbare Versuche stützen. Sehr natürlich ist es daher, dass die Physiologen den Wheatston'schen Schlüssen entgegentreten und sich bemühen, die von ihm beobachteten Erscheinungen mit der Lehre von den identischen Netzhautstellen in Einklang zu bringen". Der letzteren Tendenz ist denn auch die neueste Schrift Volkmann's gewidmet. Und doch, wenn die alte Lehre schärferer Prüfung nicht mehr Stand hält; was

bleibt übrig als sie fahren zu lassen, selbst auf die Gefahr hin, ein gutes Theil der uns geläufigen Begriffe mit ihr preisgeben zu müssen. Zum Glück sieht es mit dem von Volkmann gefürchteten Umsturz nicht gar so arg aus, und was insbesondere die exacten Resultate neuerer Forschung betrifft, so sind sie darum der Wissenschaft nicht verloren; richtig und gut beobachtete Thatsachen behalten ihren Werth, selbst wenn das an sie geknüpfte Raisonnement einem besseren weichen muss. Ich glaube im Gegentheil die Hoffnung aussprechen zu dürfen, und diese Blätter tragen vielleicht dazu bei, dies zu bewahrheiten, dass die Abstreifung des alten Irrthums sich bald genug als nützlich erweisen wird, dass vieles Dunkle und Räthselhafte sich erklären, vieles Complicirte sich vereinfachen wird. In der Lehre vom stereoskopischen Sehen, in der Lehre vom Doppeltsehen, in dem erst vor Kurzem einer ächt wissenschaftlichen Behandlung gewonnenen Terrain der Augenmuskelkrankheiten, giebt es bis diesen Augenblick eine nicht geringe Zahl von Thatsachen, die sich den gewohnten Regeln nicht fügen wollen und vollkommen paradox dastehen. Die Horopterlehre befindet sich im äussersten Grade von Verwirrung; diametral entgegengesetzte Behauptungen werden bis zur Stunde von den geachtetsten Forschern vertheidigt. Ueber die ganze Theorie des räumlichen Sehens herrschen die abweichendsten Ansichten; die Psychologen lehren andre Dinge als die Physiologen, ohne dass doch die Einen oder die Andern unter sich einig wären, — und doch kann die Wahrheit nur eine sein. Bei alle dem scheint mir der Zusammenhang ein überaus einfacher zu sein. Giebt man einmal die Idee auf, die überall störend dazwischen tritt, so drängt sich der rothe Faden, der durch die ganze Reihe der binocularen Gesichtsphänomene hindurchgeht, mit Nothwendigkeit auf und mit leichter Mühe wird sich der Gesichtspunkt zur einheitlichen Zusammenfassung der Thatsachen finden lassen.

„Gesichtsobjecte, welche ihre Bilder auf der Lage nach einander entsprechenden (sog. identischen) Punkten beider Netzhäute entwerfen, werden einfach gesehen; Objecte hingegen, welche sich auf differenten Netzhautstellen abbilden, werden doppelt gesehen.“ — Dieser Satz bildet heutzutage die Basis der ganzen Lehre vom Binocularsehen. Alle physiologischen und pathologischen Erscheinungen sollen durch denselben erklärt werden. Bei dem Bemühen, die Unhaltbarkeit dieses Satzes und des darauf gegründeten Systems nachzuweisen, musste ich einerseits zeigen, dass die Erklärungen der binocularen Gesichtserscheinungen, welche die Hypothese einer präexistirenden Identität der Netzhäute giebt, für die sie geschaffen ist, nicht genügen. Andererseits musste ich, wenn möglich

richtigere Erklärungen an Stelle der bisherigen setzen. Physiologie und Pathologie bieten hier ein so weites Feld, dass ich, wenn ich den Plan dieser Abhandlung nicht sehr weit fassen wollte, auf erschöpfende Vollständigkeit verzichten und eine Auswahl treffen musste. Nur die wichtigsten Erscheinungen habe ich besprochen, und auch bei diesen mich kurz zu fassen gesucht, die ausführliche Erörterung mancher Einzelheiten mir vorbehaltend. Insbesondere sind es die pathologischen Verhältnisse, die ich nur so weit es dringend nothwendig war, in die Discussion hineinzog. Naturgemässer Weise muss die Frage erst auf dem Felde des Normalen zum Austrag gebracht werden, die Anwendung auf die krankhaften Zustände hat dann keine Schwierigkeit. Nur diejenigen Thatsachen aus der Pathologie zog ich heran, welche für die Theorie von unmittelbarer Wichtigkeit waren.

Auf eine ausführliche historisch-kritische Behandlung der einzelnen Fragen konnte ich mich im Allgemeinen nicht einlassen; vielmehr lag es in der Natur der Sache, dass ich diejenigen Anschauungen vorzugsweise berücksichtigte, welche gegenwärtig allgemein angenommen sind. Daneben ging ich dann so weit thunlich auf die abweichenden Ansichten der neuesten Autoren ein.

Mögen die Andeutungen, die ich gegeben, genügen, um die vorgeschlagene Reform der Anschauungen in der Lehre vom Binocularsehen als eine nothwendige und dringliche zu legitimiren.

Erstes Capitel.

Zur Perspective der Netzhautbilder.

Allem Weiteren muss ich einige, wenn auch nur fragmentarische Bemerkungen über einen bisher kaum berücksichtigten, nichts destoweniger aber wichtigen Gegenstand voranschicken, über die perspectivische Beschaffenheit der Netzhautbilder und insbesondere über die perspectivischen Differenzen in den Netzhautbildern beider Augen. Ich beschränke mich hierbei auf das zur Erklärung des Späteren Erforderliche.

Die Netzhautbilder sind perspectivische Projectionen auf eine gekrümmte Fläche, welche ohne erheblichen Fehler als eine kuglige angesehen werden kann. Die geringe Abweichung der Netzhaut von der sphärischen Gestalt fällt deshalb nicht ins Gewicht, weil die Netzhautbilder wieder nach aussen projicirt werden und es daher bei allen zu ziehenden Folgerungen nicht eigentlich auf die Gestalt der Bildfläche sondern immer nur auf die Lage und die Winkelabstände der Projectionslinien ankommt. Aus gleichem Grunde ist es auch erlaubt, den Kreuzungspunkt der Projectionslinien mit dem Krümmungsmittelpunkt der Netzhaut zu identificiren. Bei dem Zurückprojiciren des Netzhautbildes nach aussen werden, falls genauere Data über die Entfernung jedes einzelnen gesehenen Punktes fehlen, alle Punkte gleich weit von dem Kreuzungspunkt der Projectionslinien verlegt, also in eine Kugelfläche *). Diese will ich fortan als **Projectionssphäre** bezeichnen; ihre Bedeutung, namentlich für das Doppeltsehen, soll in einem späteren Abschnitte untersucht werden. Hier genügt es darauf hinzuweisen, dass die in diese Fläche projicirten Bilder den Bildern der kugelförmig gedachten Netzhaut geometrisch ähnlich sind, und da es auf erstere hauptsächlich ankommt, so ist die Betrachtung der Netzhäute als Kugeln, deren Centra die Kreuzungspunkte der Projectionslinien sind, um so mehr gerechtfertigt.

*) Factische Beweise hiefür folgen in den späteren Theilen dieser Abhandlung.

Die Verbindungslinie beider Netzhautcentra, d. h. beider Kreuzungspunkte der Projectionslinien nenne ich die Grundlinie, obgleich dieser Name von Meissner bereits für die Verbindungslinie der Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen (oder die auf einen Punkt reducirt gedachten Knotenpunktsregionen) benutzt worden ist. Meissner hat dabei wohl dieselben Punkte im Sinne gehabt wie ich. Erst später ist von Helmholtz nachgewiesen worden, dass die Kreuzungspunkte der Projectionslinien nicht mit dem Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen zusammenfallen, daher es nun wohl zweckmässig erscheint für die Verbindungslinie der ersteren den Namen Grundlinie beizubehalten, da nur diese für das Binocularsehen eine Bedeutung hat.

Da die Kreuzungspunkte der Projectionslinien von den Drehpunkten der Augen um ein Bedeutendes abstehen, so wird die Länge und Lage der Grundlinie bei verschiedenen Augenstellungen eine merklich verschiedene sein, was bei genauen Rechnungen nicht unberücksichtigt bleiben darf. Hier jedoch, wo es sich nur um allgemeine, vergleichungsfähige Resultate handelte, dürfen diese Veränderungen ausser Acht gelassen werden, weil überhaupt die Stellung der Augen als constant angenommen wird. Bei der Untersuchung der geometrischen Eigenschaften des auf der Netzhaut entstehenden Bildes ist es nämlich gleichgültig, ob Stellen von höherem oder niederem physiologischen Werth von den Bildern getroffen werden, daher von Fixation und Augenbewegungen ganz abgesehen werden kann.

Aus den bekannten Gesetzen der Linearperspective lassen sich leicht folgende Regeln für die Projection auf eine sphärisch gestaltete Netzhaut ableiten, die eines Beweises nicht bedürfen:

Ohne perspectivische Verkürzung erscheinen im Netzhautbilde nur solche Distanzen, deren Endpunkte von dem Kreuzungspunkt der Projectionslinien gleich weit entfernt sind. Daraus folgt:

Geometrisch ähnliche Bilder entstehen auf der Netzhaut nur von solchen Figuren, welche in einer Projectionssphäre des Auges liegen; also nur der Inhalt einer Fläche. Bilder von körperlichen Objecten müssen unter allen Umständen verkürzte Linien enthalten.

Ferner: Alle Distanzen, deren Endpunkte verschieden weit vom Kreuzungspunkte der Projectionslinie abstehen, erscheinen im Netzhautbilde perspectivisch verkürzt und zwar wächst die Verkürzung, je mehr die Richtung der geraden Verbindungslinie beider Endpunkte sich der Richtung ihrer Projectionslinien nähert. Fällt die Verbindungslinie ganz in eine Projectionslinie, d. h. liegt sie in der Verlängerung einer von einem Endpunkte der abzubildenden Distanz nach dem Kreuzungspunkte

der Projectionslinien gezogenen geraden Linie, so verschwindet die Distanz im Netzhautbilde ganz und wird zu einem Punkte.

Bezüglich des Verhaltens der Bilder beider Netzhäute zu einander ist zunächst klar, dass Distanzen, die in einem Auge unverkürzt erscheinen, im andern Auge im Allgemeinen sich nicht auch ohne Verkürzung darstellen können. Nur dann kann dies der Fall sein, wenn die Projectionssphären beider Augen ganz oder theilweise zusammenfallen, mit andern Worten, wenn die Endpunkte der Distanz von beiden Kreuzungspunkten der Projectionslinie gleich entfernt sind. Diese Bedingungen sind in zwei Fällen realisirt. 1) Bei Distanzen deren Endpunkte in unendlicher, resp. sehr grosser Entfernung liegen; dann können beide Projectionssphären als zusammenfallend angesehen werden.

2) Bei Distanzen, deren Endpunkt in der Schneidungslinie zweier Projectionssphären von gleichem Radius liegen. Diese Schneidungslinie ist, wie leicht einzusehen, ein verticaler in der Medianebene gelegener Kreis, dessen Mittelpunkt der Halbirungspunkt der Grundlinie ist.

Kreise der letzteren Art sind in endlicher Entfernung die einzigen, von deren Inhalt in beiden Augen gleiche und dem Objecte geometrisch ähnliche Bilder entstehen können.

Weiter lassen sich folgende Sätze aufstellen: Die Verschiedenheit beider Netzhautbilder hängt ab von dem verschiedenen Standpunkt beider Augen gegen das Object. Nur in Bezug auf unendlich ferne Objecte sind die Standpunkte als identisch anzusehen; aber auch schon für einigermassen ferne Objecte sind die Bildunterschiede verschwindend klein. Je näher die Objecte, desto erheblicher die perspectivischen Differenzen in den Bildern; denn desto erheblicher wird die Länge der Grundlinie relativ zur Entfernung. Die Bilder unendlich ferner Gegenstände sind als congruent anzusehen.

Gleiche Lage haben beide Augen ausserdem noch gegen die Medianebene des Körpers; die einzelnen Theile stehen zu dieser Ebene im Verhältniss der Symmetrie. Daher liefert der Inhalt der Medianebene auf beiden Netzhäuten zwar gleiche Bilder; die Lage derselben ist aber eine entgegengesetzte, in Bezug auf die Medianebene symmetrische.

Es gilt also der Satz: Distancen, die in der Medianebene liegen, sind in beiden Netzhautbildern gleich gross, Figuren in dieser Ebene liefern symmetrische Bilder.

Die Ungleichheit der Netzhautbilder von Distanzen, die nicht unendlich fern sind, auch nicht in der Medianebene liegen, hat einen doppelten Grund. 1) Die verschiedene scheinbare Grösse in Folge des ungleichen Abstandes des Objects von beiden Augen. 2) Der verschiedene

Verkürzungsgrad in Folge verschiedener Lage gegen beide Kreuzungspunkte der Projectionslinien.

Die Differenz der scheinbaren Grösse (oder des Gesichtswinkels) für beide Augen ist um so grösser, je weiter ein Object seitlich von der Medianebene absteht, sie wächst ausserdem auch mit der Annäherung.

Die Ungleichheiten der Netzhautbilder senkrechter Linien sind unter den gewöhnlichen Verhältnissen des Sehens viel geringer als die aller anders gerichteten Linien. Bei senkrechten Linien beträgt der Unterschied in der Regel nur einen kleinen Bruchtheil des ganzen Bildes, weil hier gewöhnlich nnr die scheinbare Grösse verschieden ist. Bei allen anderen Linien dagegen tritt der Unterschied der perspectivischen Verkürzung hinzu, welche die Bildgrösse für ein Auge auf Null reduciren kann.

Da die beiden die Ungleichheit der Bilder veranlassenden Momente in entgegengesetztem Sinne von Einfluss sein können, so lassen sich zu dem Satze: Distanzen liefern gleiche Netzhautbilder, wenn ihre Endpunkte unendlich fern oder in der Medianebene liegen — noch zwei Zusätze aufstellen.

I. Alle Distanzen, deren Endpunkte in der Peripherie eines durch beide Kreuzungspunkte der Projectionslinien gehenden Kreises liegen, erscheinen in beiden Netzhautbildern gleich gross.

Solche Distanzen müssen also einer durch die Grundlinie gelegten Ebene angehören; doch kann diese Ebene gegen den Horizont in jedem beliebigen Winkel geneigt sein; auch kann der Radius jede beliebige Grösse haben.

Der Beweis dieses Satzes ist ähnlich wie für die bekannte Müllersche Horopterconstruction. Es ist Fig. 1.

$$\angle Lac = \angle Rbc$$

als Peripheriewinkel auf derselben Sehne. Ferner

$$\angle acL = \angle bcR$$

als Scheitelwinkel. Daher sind auch die dritten Winkel beider Dreiecke gleich

$$\angle aLb = \angle aRb.$$

Ebenso ihre Scheitelwinkel

$$\angle a,Lb, = \angle a,,Rb,,$$

und deren Bogen $a,b, = a,,b,,$

Es lässt sich leicht erkennen, dass hier der Einfluss der perspectivischen Verkürzung und der Entfernung sich gegenseitig compensiren; die Linie $a\,b$ erscheint dem rechten Auge zwar stärker verkürzt, ist ihr aber in entsprechendem Maasse näher; daher beide Netzhautbilder gleich gross sind.

Zu bemerken ist jedoch, dass die Gleichheit der Bilder sich nur auf die Totaldistanz $a\,b$ bezieht. Würde die gerade Linie $a\,b$ halbirt

oder in mehrere gleiche Theile getheilt, so werden die Bilder der getheilten Linien in beiden Augen nicht gleich sein; die Entfernung je zweier Theilpunkte ist in beiden Bildern nicht mehr dieselbe; daher auch $a,b,$ und $a,,b,,$ nicht geradezu als gleiche Bilder der geraden Linie $a\,b$ bezeichnet werden dürfen. Wohl aber gilt dies für den Kreisbogen $a\,b$, von dem in der That $a,b,$ und $a,,b,,$ gleiche Bilder sind. Jeder Punkt des Bogens hat in beiden Bildern gleiche Lage zu den Endpunkten. Es folgt dies unmittelbar aus dem obigen Beweise.

Anticipirend bemerke ich, dass ich, von der gebräuchlichen Nomenclatur aus später darzulegenden Gründen abweichend, alle Kreise der gedachten Art Horopterkreise nenne. Von diesen darf aber nicht eine bestimmte Anzahl zu einer Horopterfläche vereinigt gedacht werden, wofür in dem folgenden Satze ein Beweis liegt.

II. Dieser zweite Satz ist folgender:

Distanzen, welche den bisher erwähnten Bedingungen nicht Genüge leisten, deren Endpunkte also weder in unendlicher Ferne, noch in der Medianebene, noch in der Peripherie eines Horopterkreises liegen, können nur in dem Falle noch auf beiden Netzhäuten sich in gleicher Grösse abbilden, wenn ihre Endpunkte zu verschiedenen Seiten der Medianebene liegen und die Verbindungslinie beider Endpunkte durch die Medianebene halbirt wird.

Der Beweis dieses Satzes soll an anderer Stelle geliefert werden (cf. Cap. VII).

Aus diesen Sätzen ist zu schliessen, dass körperliche Objecte, in denen ihrem Begriffe gemäss Distanzen verschiedener Richtung vorkommen müssen, niemals in beiden Augen gleiche Bilder liefern können. Selbst die Kugel, die doch in beiden Augen kreisförmige Bilder von gleicher Grösse liefern muss, bildet nur eine scheinbare Ausnahme; denn die Kreise auf beiden Netzhäuten sind nicht Bilder desselben Kugelkreises, sondern zweier verschiedener. Nicht einmal ebene Figuren, wenn sie nicht in der Medianebene liegen, geben gleiche Netzhautbilder.

Um die Lage der Bildpunkte in beiden Augen näher zu bestimmen, denken wir uns die beiden als Kugeln betrachteten Netzhäute mit zwei auf einander rechtwinklig stehenden, unbeweglichen Meridiansystemen versehen. Die Axe des einen Systems sei die vertikale Axe der Kugel. Die Ebenen aller zu dieser Axe gehörenden Meridiane stehen vertical (bei aufrechter Körperstellung, wie sie ein für allemal vorausgesetzt wird). Daher dieses System den Namen der verticalen Meridiane führen möge. Die Axe des zweiten Meridiansystems sei die Verlängerung der Grundlinie. Diese Meridiane nenne ich Grundlinienmeridiane, da die Ebenen derselben sämmtlich die Grundlinie enthalten. Sie sollen vom obersten Punkte der Kugel gradweise gezählt

werden, so dass der senkrecht stehende, mit der Angesichtsfläche parallele Meridian mit 0 bezeichnet wird. Dieser 0te Grundlinienmeridian ist zugleich auch der 0te verticale Meridian und werden die verticalen Meridiane in beiden Augen nach gleicher Seite, beispielsweise nach rechts herum gezählt. — Um sich auch über die Höhenverhältnisse von beiden Kugeln auf bequeme Weise orientiren zu können, kann man noch ein System von Parallelkreisen angebracht denken, die sich auf die verticale Axe beziehen. Punkte der Netzhäute, welche auf gleichen Parallelkreisen liegen, befinden sich dann in gleicher Höhe.

Es lassen sich nun folgende Sätze aufstellen.

Die Bilder jedes Punktes fallen stets auf gleiche Grundlinienmeridiane. Dieselben liegen in gleicher Höhe, d. h. auf gleichen Parallelkreisen nur dann, wenn 1) der Punkt unendlich fern ist, oder 2) in der Medianebene oder 3) in der horizontalen Grundlinienebene liegt.

Letzterer Fall 3) bedarf keines Beweises, da die horizontale Grundlinienebene oder der 90te Grundlinienmeridian mit dem 90ten Parallelkreise zusammenfällt.

Für 1) und 2) gelte Folgendes als Beweis.

Es werde durch einen beliebigen, weder in der Medianebene noch in der horizontalen Grundlinienebene befindlichen Punkt a und die Grundlinie eine Ebene gelegt, so werden beide Kugeln in gleichen Grundlinienmeridianen geschnitten und in diesen liegen die Bilder von a in $a_,$ und $a_{,,}$ (Fig. 2). Es werde ferner durch den Punkt $a_,$ eine Horizontalebene durch beide Augen gelegt; dieselbe schneidet beide Kugeln in gleichen Parallelkreisen. Die erst erwähnte Ebene der Grundlinienmeridiane, welche in der Figur dargestellt ist, wird von der zweiten Ebene, der horizontalen in der Linie a,c geschnitten und der Grundlinienmeridian des Auges R, welchen die Fig. 2 zeigt, wird von dem Parallelkreise in zwei Punkten b und c geschnitten. Die Lage dieser beiden Punkte ist aber nach bekannten stereometrischen Sätzen leicht anzugeben. Der Radius $b\,R$ ist parallel dem Radius $a,\,L,$ während der Radius $c\,R$ ihm symmetrisch in Bezug auf die Medianebene ist. Der Bildpunkt $a_{,,}$ liegt also nicht in gleichem Parallelkreise wie der Bildpunkt $a_,$. Nur wenn der Punkt a in der Richtung $aa_,$ so läge, dass sein Bild im rechten Auge auf b fiele, also in unendlicher Ferne, oder wenn er so läge, dass sein Bild auf c fiele, d. h. in der Medianebene, würden die Bilder in beiden Augen auf gleichen Parallelkreisen liegen, q. e. d.

Auf gleiche verticale Meridiane (den 0ten Grundlinienmeridian als 0ten verticalen Meridian gerechnet) fallen nur Bilder von unendlich fernen Punkten, — was keines Beweises bedarf.

Der Winkelunterschied der verticalen Meridiane, in welche die Bilder eines in endlicher Entfernung befind-

lichen Punktes fallen, ist gleich dem Winkel, welchen die Projectionslinien dieser Bildpunkte einschliessen.

Die verticalen Meridiane werden in der Fig. 3 von b und c nach rechts herum gezählt. Das Bild a, des Punktes a liegt also unter dem verticalen Meridiane, dessen Gradzahl durch den Winkel $a, Lb = \alpha$ bestimmt wird, das Bild $a_{,,}$ im rechten Auge unter dem Meridian von der Gradgrösse des Winkels $a_{,,} Rc$. Der Winkelunterschied in der Lage beider Bilder ist also $= \beta - \alpha$. Es werde der Radius Rd parallel La, gezogen; dann ist $\angle cRd = \alpha$, also $\angle a_{,,}Rd = \beta - \alpha$ und da $\angle LaR = \angle a_{,,}Rd$ so ist auch $\angle LaR = \beta - \alpha$ q. e. d.

Zählt man jedoch die verticalen Meridiane von einem variabeln, mit der Entfernung sich ändernden Punkte aus, so gilt der Satz, dass die Bilder auf gleiche verticale Meridiane fallen, wenn der gesehene Punkt in der Peripherie des der Entfernung entsprechenden Horopterkreises liegt; ein Ausfluss eines früheren Satzes.

Nach den beiden vorstehenden, einander ergänzenden Regeln lässt sich nun jedesmal die Lage der Bilder eines Punktes auf beiden Netzhäuten leicht angeben und eine einfache Construction belehrt uns über die perspectivischen Verkürzungen und Verschiebungen beider Bilder und über ihr Verhältniss zu einander. Wer sich dies veranschaulichen will, erreicht dies sehr bequem, wenn er eine oder zwei Kugeln in der erwähnten Weise mit Meridianen versieht und nun nach den Regeln die Bilder hineinzeichnet. Zeichnungen in der Ebene sind hiezu nicht so gut geeignet, weil die Projection in der Ebene wieder neue Verziehungen herbeiführt. In der Fig. 4, Taf. I. stellen L und R den Aufriss der mit verticalen und Grundlinienmeridianen versehenen Netzhäute, in orthographischer Projection gezeichnet, dar, mit einigen Netzhautbildern für ein paar einfache Fälle, in welchen man sich den Unterschied der Bilder in beiden Augen leicht vergegenwärtigen kann.

Die Sehobjecte sind quadratisch getheilte Felder; die Bilder $a, a, b, b,$ beziehen sich auf solche, die sich in einer senkrechten der Angesichtsfläche parallelen Ebene befinden (etwa ein Fenster an einer senkrechten Wand), die Bilder $c, c, d, d,$ auf solche, die sich in einer horizontalen Ebene befinden (etwa ein auf einem Tische liegendes Schachbrett). Im ersten Falle fallen die Bilder der senkrechten Linie in die verticalen, die der horizontalen Linien in die Grundlinienmeridiane. Im zweiten Falle fallen die der Grundlinie parallelen Linien in Grundlinienmeridiane, die auf der Angesichtsfläche senkrechten Linien erhalten eine schiefe Richtung zu den verticalen Meridianen.

In a und $a,$ ist der Fall fingirt, dass ein geradeaus in einiger Höhe befindliches Fenster sich auf den Netzhäuten abbildet. Für b und $b,$ befindet sich das gesehene Fenster in gleicher Höhe mit den Augen des Beobachters, aber zur Seite. c und $c,$ sind die Bilder eines geradeaus

vor dem Beobachter auf dem Tische liegenden Schachbrettes; *d* und *d*, die Bilder eines seitlich auf einem höheren, dem Niveau der Augen näher kommenden, Tische liegenden Schachbrettes.

Zweites Capitel.

Vorbemerkungen über das Binocularsehen.

Ich beginne damit, in Kürze meinen Standpunkt bei der Beurtheilung der Erscheinungen des Binocularsehens darzulegen und als eine Hypothese hinzustellen, die ich dann später im Einzelnen durchzuführen und an den Thatsachen zu erhärten suchen werde.

Wenn wir ein körperliches Object mit einem Auge betrachten, so ist es eine bekannte Thatsache, dass wir, wenn nicht besonders günstige Umstände der Wahrnehmung zu Hülfe kommen, über die Entfernung des ganzen Objects sowohl, als über die Entfernung der einzelnen Punkte desselben, kurz über die räumlichen Verhältnisse des Objects, über seine Körperlichkeit kein Urtheil oder doch kein sicheres Urtheil gewinnen. Versparen wir jene besonderen Umstände späterer Erörterung und halten uns vorläufig an den flächenhaften, gemäldeartigen Eindruck, den wir ohne solche erhalten. Die Localität jedes Punktes des Netzhautbildes giebt uns nur an, in welcher Richtung wir das entsprechende Object zu suchen haben, nämlich in der Richtung der Projectionslinie oder Visirlinie, nicht aber wissen wir, wie weit wir jeden Punkt nach aussen zu verlegen haben. So verlegen wir denn sämmtliche Punkte des Retinabildes in gleiche Entfernung; also in eine Fläche. Es giebt nur eine Fläche, welche in allen Punkten von dem Kreuzungspunkte der Projectionslinien gleichweit entfernt ist, eine Kugelfläche. Auf ein Stück einer Kugelschale projiciren wir also die Netzhautbilder eines Auges; ich habe diese die Projectionssphäre des Auges genannt. Je grösser die Entfernung dieser Projectionsfläche ist, desto mehr nähert sie sich der Ebene und überhaupt sind wir uns einer Krümmung der mit einem Auge gesehenen Bilder nur in seltenen Ausnahmsfällen bewusst. Das Ganze des Himmelsgewölbes oder des fernen Horizonts erscheint uns wohl gekrümmt, aber kleinere Theile des Gesichtsfeldes kommen uns eben vor. Wie weit die Projectionssphäre nach aussen zu verlegen ist, dafür giebt uns unter andern Momenten die Accommodation des Auges einen übrigens nicht sehr genauen Anhaltspunkt;

sie bestimmt den Radius der Projectionskugelfläche. — Ein einzelnes Auge hat also im Allgemeinen ein flächenhaftes Gesichtsfeld, in welches die Projectionen aller gesehenen Objecte eingetragen werden. Die allbekannten Experimente mit dem monocularen Sehen, die ich hier nicht wiederholen will, beweisen, wenn sie richtig ausgeführt werden, die Wahrheit des Gesagten. Schliesst man alle die Nebenmomente, welche dem Urtheil zu Hülfe kommen können, möglichst sorgfältig aus, dann erkennt man leicht, wie die Kenntniss der Abstände der Objecte unter einander fast ganz fehlt, wie unsicher aber auch das aus dem Accommodationsgefühl entnommene Urtheil über die Entfernung eines fixirten Gegenstandes ist und wie ungenau die Lage der Projectionsfläche selbst dadurch bestimmt wird. Das Zuhülfekommen eines neuen Moments, z. B. des Tastsinns, oder einer Veränderung des Standpunkts, kann das Urtheil leicht berichtigen, und es accommodirt sich dann der Gesichtseindruck sofort dem besseren Wissen, im Gegensatz zu gewissen anderen Fällen, wo besseres Wissen selbst auf eine widersinnige Wahrnehmung keinen Einfluss äussert.

Ein Beispiel: In dem Auge O (Fig. 5), welches auf den schräg gestellten in der Visirebene liegenden Stab $a\,b$ gerichtet ist, entsteht das umgekehrte Netzhautbild $a_{,}\,b_{,}$. Nach diesem Bilde weiss man*), dass der dem Bildpunkt $a_{,}$ entsprechende Punkt des Stabes in der Richtung zu suchen ist, welche durch eine von $a_{,}$ durch den Kreuzungspunkt der Visirlinie gezogenen Linie gegeben ist. Denken wir uns diese Linie gezogen, bis sie in α die (durch die Accommodation und einige nebensächliche Momente bestimmte) Projectionssphäre trift; β bildet auf dieselbe Weise die Projection des Bildes $b_{,}$, $\alpha\,\beta$ ist also das nach aussen verlegte perspectivische Bild des Stabes. Seine wahre Länge und Lage ist dadurch begreiflicherweise noch gar nicht gegeben. Der kürzere Stab $a\,e$ würde dasselbe Netzhautbild $a_{,}\,b_{,}$, dieselbe Projection nach aussen $\alpha\,\beta$ geben. Dasselbe gilt für den längeren Stab $d\,e$, welcher eine ganz andere Lage hat, aber von demselben Gesichtswinkel eingeschlossen wird. Ueber die wirkliche Richtung und Entfernung des mit einem Auge gesehenen Stabes sind wir also im Unklaren und schwanken beim Anschauen zwischen verschiedenen Projectionsweisen. Verlegen wir das Bild näher, nach $\alpha_{,}\beta_{,}$, so scheint uns das Object kleiner; halten wir es für ferner, so erscheint es grösser. Wenn wir uns durch ein beliebiges Mittel von dem Sachverhalt überzeugen, so verändern wir auch leicht die Projection in entsprechender Weise und mit ihr die Vorstellung von

*) Man entschuldige diese häufig wiederkehrende ungenaue Ausdrucksweise, deren ich mich nur der Kürze halber bediene. Es versteht sich, dass, wenn hier vom „Wissen" und „das Auge verlegt nach aussen" die Rede ist, eine unwillkürliche günstige Thätigkeit gemeint ist, deren richtige Bezeichnung jedesmal eine lange Umschreibung erfordern würde.

der Entfernung, Grösse, mit einem Worte von dem Orte des Stabes. Aber die Wahrnehmung mittelst eines Auges allein bleibt immer sehr unvollkommen.

Nehmen wir nun das zweite Auge zu Hülfe. Die alltägliche Erfahrung lehrt uns, dass die gleichzeitige Benutzung beider Augen uns sofort über die Entfernung und über die körperlichen Dimensionen nicht zu ferner Gegenstände orientirt. Der Grund davon ist leicht einzusehen.

Derselbe Stab $a\,b$ soll nun von beiden Augen gleichzeitig betrachtet werden (Fig. 6). Er entwirft auf der Netzhaut beider Augen L und R die Bilder $a_{,}\,b_{,}$ und $a_{,,}\,b_{,,}$, welche wegen der verschiedenen Stellung des Stabes relativ zu beiden Augen verschieden gross sind. Das Auge L würde, wenn es allein in Thätigkeit wäre, sein Netzhautbild $a_{,}\,b_{,}$ nach $\alpha_{,}\,\beta_{,}$ auf seine Projectionsfläche verlegen, das Auge R, wenn es allein sähe, ebenso das seinige nach $\alpha_{,,}\,\beta_{,,}$. Nun aber sehen beide Augen gleichzeitig. Das Auge L projicirt den Punkt $a_{,}$ in der Richtung der Visirlinie hinaus. Wüssten wir nicht, wie weit er zu projiciren sei, so würden wir ihn auf die Projectionssphäre nach $\alpha_{,}$ verlegen. Nun jedoch giebt das Auge R an, in welche Entfernung der Punkt a zu versetzen ist; denn derselbe Punkt entwirft in diesem Auge das Bild $a_{,,}$ und wo die Projectionslinie $a_{,,}\,\alpha_{,,}$ die Projectionslinie $a_{,}\,\alpha_{,}$ schneidet, da muss nothwendig der gesehene Punkt a sich befinden. Durch die Schneidung der beiden Projectionslinien ist der Ort des Punktes, der die Quelle beider Bildpunkte $a_{,}$ und $a_{,,}$ ist, im Raum vollständig bestimmt. Was für den einen Endpunkt $a_{,}$ des Stabes gezeigt wurde, gilt natürlich auch für den andern b; nicht minder für alle dazwischen gelegenen Punkte. Wir gewinnen genaue Kenntniss von der Lage der einzelnen sichtbaren Punkte des Objects zu einander und zu unserm Standpunkte und sind durch einen einzigen Blick über die räumlichen Verhältnisse unterrichtet.

Die Stellung beider Augen ist bisher nicht genau präcisirt worden; es wurde unberücksichtigt gelassen, welcher Punkt des Gesichtsobjects fixirt wird, d. h. welchem Punkte die Maculae luteae beider Netzhäute gegenüber gestellt werden. In der That ist dies auch irrelevant für die Qualität des körperlichen Eindrucks; nur für die Intensität des Eindrucks, für die genaue Wahrnehmung der Einzelheiten ist die Fixation von Bedeutung. Es macht keinen Unterschied, ob wir im obigen Beispiele den Endpunkt a oder b, oder die Mitte des Stabes fixiren, ja die Deduction gilt in unveränderter Weise auch für ganz excentrische Objecte. Der stark seitwärts befindliche Stab $d\,e$ (Fig. 6) wird ebenso gut körperlich wahrgenommen, wie der in der Mitte des Gesichtsfeldes gelegene, nur freilich ist der Eindruck kein so scharfer, weil die Netzhautbilder nur undeutlich percipirt werden.

Worin besteht nun der Unterschied zwischen dem Sehen mit einem und mit beiden Augen? In beiden Fällen handelt es sich um eine geistige Thätigkeit, um Schlüsse — dies Wort in weitester Bedeutung genommen —, die aus der Beschaffenheit der Netzhautbilder auf die wirklichen Gegenstände gemacht werden. Wir haben gesehen, dass der Mechanismus, welcher dieser geistigen Thätigkeit zu Grunde liegt, sehr einfach ist, nämlich eine geometrische Construction. Zu dieser kommen dann freilich noch mancherlei Hülfsmittel des Urtheils hinzu, die Fixation und das Bewusstsein der Convergenz der Sehaxen, die Accommodation, Beleuchtung, Kenntniss des Gegenstandes u. s. w. Beim einseitigen, wie beim gemeinschaftlichen Sehact ist aber der geistige Vorgang der nämliche, nur dass im letzteren Falle die Hülfsmittel des Urtheils, das Material zu den Schlüssen vermehrt ist. Gleichwohl ist die Vermehrung des Materials so äusserst wichtig und unersetzlich, dass wir wohl von einem specifischen Unterschiede des monocularen und binocularen Sehens reden dürfen. Die Thätigkeit beim Sehen mit einem Auge bestand darin, dass bei fehlender Kenntniss der Entfernung Alles auf einer Fläche projicirt wird; daher das flächenhafte Bild unbekannter Gegegenstände. Wenn aber Accommodationsbewusstsein, Schlagschatten, vorgängige Kenntniss der Objecte uns sagen, wie weit wir jeden Punkt nach aussen zu verlegen haben, so projiciren wir auch so und haben eine ebenso körperliche Vorstellung, als wenn wir beide Augen benutzen; obwohl das eine Netzhautbild in sich allein noch nicht die Bedingungen zu derselben trägt. Während ich z. B. an meinem Schreibtische sitze, werde ich, wenn ich ein Auge geschlossen halte, die umgebenden Gegenstände, das vor mir liegende Buch, die in der Hand gehaltene Feder, keineswegs in gleiche Entfernung und auf eine Fläche projiciren, etwa auf das Papier, für das mein Auge accommodirt ist, sondern ich sehe alles eben so gut körperlich, als wenn ich mich beider Augen bediene. Die scheinbare Grösse, die Beleuchtung und Schattengebung aller dieser Objecte, die Kenntnisse, die ich früher von derselben gewonnen, kommen der Vorstellung zu Hülfe und ergänzen die Unzulänglichkeit des einen Netzhautbildes. Die alte, geläufige Vorstellung von einem Object braucht nur ein sehr wenig vollkommenes Netzhautbild, um wach gerufen zu werden, um in ganzer Vollständigkeit ins Bewusstsein zu treten. — So sieht denn auch der Einäugige körperlich. Was er in dem Hülfsmittel eines zweiten Auges entbehrt, ersetzt er einigermassen durch verdoppelte Aufmerksamkeit auf alle jene Hülfsmomente; er gewinnt nöthigenfalls durch kleine Veränderungen in der Stellung des Kopfes oder des ganzen Körpers successive die verschiedenen perspectivischen Ansichten, die der binocular Sehende gleichzeitig erhält. So wird dem Einäugigen die Erlangung des Materials zur Beurtheilung der Gesichtserscheinungen zwar mühsamer, aber das Resultat,

die körperliche Vorstellung des Gesehenen ist nahezu dasselbe. Bekannten, günstig beleuchteten Gegenständen gegenüber verhält er sich nicht anders als der mit zwei Augen Sehende, unbekannte dagegen machen den Eindruck auf ihn, wie eine zum ersten Male gesehene Fernsicht auf den, der sich beider Augen bedient, nämlich den Eindruck des Gemäldes. Und so wenig der mit zwei gesunden Augen Begabte sich beim Fernsehen (wo die geringe Verschiedenheit der Standpunkte beider Augen nicht in Betracht fällt) der Flächenhaftigkeit seiner Gesichtseindrücke bewusst ist; diese vielmehr erst durch den Contrast gegen die Wahrnehmungen mittelst eines passenden Instruments, eines Telestereoskops, bemerkt — eben so wenig wird derjenige, der nur über ein Auge gebietet, allemal Kenntniss haben von der Mangelhaftigkeit seiner Tiefenwahrnehmung. Freilich hat Letzterer häufig Gelegenheit zu irrigen Vorstellungen und Täuschungen, da er vielfach auf die Supplementirung seiner Wahrnehmungen durch Erinnerung und Einbildungskraft angewiesen ist. Es geht ihm wie dem Gebirgsreisenden, der beim ersten Durchreisen der Landschaft falsche Eindrücke von den Dimensionen der Berge erhält, und erst nach längerem Kreuz- und Querwandern, durch günstige Beleuchtung und Luftperspective zu einer richtigeren Vorstellung von dem Relief des Gebirges gelangt. Beim wiederholten Anblick der Landschaft stellt sich dann, wie Helmholtz hervorhebt, nicht mehr die falsche Relief-Vorstellung ein, sondern der unzulängliche sinnliche Eindruck wird sogleich durch die Erinnerung berichtigt. So benutzt auch der Einäugige die Beihülfe aller ihm durch den Sehsinn wie durch den Tastsinn zugängigen Mittel, und die durch dieselbe gewonnene Erfahrung zur Vervollkommnung seiner Gesichtswahrnehmungen.

Ich brauche kaum daran zu erinnern, wie wichtig und einflussreich die Phantasie bei der Auffassung des Gesehenen ist, sobald die Wahrnehmung keine so exacte ist, dass es keiner Ergänzung durch gleiche oder ähnliche ältere Vorstellungen bedarf. Wie lebhaft, bis zur Illusion vollständig, können wir uns in ein richtig perspectivisches Gemälde vertiefen, das wir mit einem Auge anschauen! Es muss aber festgehalten werden, dass das keine körperliche Wahrnehmung, keine nothwendige Consequenz des empfundenen Netzhautbildes ist — wahrnehmbar wäre viel mehr nur die flächenartige Beschaffenheit des Gemäldes — sondern eine durch ganz andere Mittel gewonnene Vorstellung.

Die flächenhafte Projection bei monocularem Sehen ist nach Allem nur ein Nothbehelf, die Folge des Mangels einer Handhabe für die richtige Projection. Wird eine solche Handhabe auf irgend eine Weise gegeben, so hört schon bei Benutzung des einen Auges die Projection auf die Fläche auf. Da die bei weitem sicherste Handhabe das zweite Auge ist, so hört beim Binocularsehen das indifferente Projiciren auf die Fläche auf und — wenige Ausnahmsfälle abgerechnet — giebt es

für beide Augen zusammen keine Projectionsfläche in dem Sinne, wie wir sie für ein Auge statuiren müssen.

Verweilen wir noch einen Augenblick bei der geistigen Operation, durch welche es möglich wurde, den zweien Netzhautbildpunkten entsprechenden Objectpunkt an eine bestimmte Stelle im Raum zu versetzen. Diese Thätigkeit setzt sich aus zweien zusammen. Die erste, allen Gesichtswahrnehmungen zu Grunde liegende Thätigkeit ist das Nachaussenversetzen des Netzhautbildes, die in dem Visiren, der Ziehung der Visirlinien bestehenden geometrischen Construction. Dann folgt der Schluss auf das Vorhandensein des Objects in dem Schnittpunkte der Visirlinien und zwar eines Objects, während doch zwei Bilder von demselben entworfen und empfunden werden. Ein unmittelbares Bewusstsein der Schneidung zweier zusammengehöriger Projectionslinien besitzen wir nicht, was schon daraus hervorgeht, dass unter gewissen Umständen ungeachtet der Kreuzung der Projectionslinien doppelt gesehen wird. Was kann uns also veranlassen, die Zusammengehörigkeit zweier Punkte beider Netzhautbilder zu erkennen?

Weil die Augen der umgebenden Welt gegenüber eine sich stets gleichbleibende Stellung zu einander haben, so muss zwischen beiden Netzhautbildern jederzeit eine ganz bestimmte, und zwar sehr grosse Aehnlichkeit obwalten. Es ist oben in Kurzem dargelegt worden, wie diese Aehnlichkeit bestimmten Gesetzen unterworfen ist, die sich aus den allgemeinen Regeln der Linearperspective ableiten lassen. Diese gesetzmässige Aehnlichkeit nun ist es, die unserem Urtheil zur Basis dient. Wir erkennen danach die Zusammengehörigkeit gewisser Punkte und schliessen auf eine einfache Quelle. Erfahrung und Gewohnheit kommen uns dabei zu Hülfe. Der leuchtende Punkt a (Fig. 7) entwirft in beiden Augen Bilder, $a_,$ und $a_{,,}$, welche geradlinig über den Kreuzungspunkt der Visirlinie hinaus nach aussen versetzt werden. Nun könnte, wenn wir vorläufig von der Accommodation abstrahiren, der leuchtende Punkt, dessen Bild $a_,$ ist, in jedem Punkt der Projectionslinie $a\,a_,$ liegen, also sowohl in $A_,$ als in $\alpha_,$; die dem Bilde $a_{,,}$ zugehörige Lichtquelle könnte gleicherweise in jeden beliebigen Punkt der Linie $a\,a_{,,}$ liegen, z. B. in $A_{,,}$ oder $\alpha_{,,}$. Für die wirkliche Lage der Lichtquellen haben wir also eine unendliche Zahl von Möglichkeiten, von denen wir die Möglichkeit, dass beide zusammenfallen, oder dass nur ein Punkt im Schnittpunkte der Projectionslinien vorhanden sei, deshalb bevorzugen, weil wir durch lange und stete Gewohnheit und Erfahrung die Ueberzeugung gewonnen haben, dass einer gewissen Art von perspectivischen Bildern nur ein Object in Wirklichkeit entspricht. Es liegt am Tage, dass dieser Schluss kein absolut sicherer, ist und vielfache stereoskopische Versuche lehren uns, dass wir in der That unser Urtheil zu betrügen vermögen und oft mit solcher Entschiedenheit,

dass wir selbst, wenn wir es wollen, die Täuschung nicht beseitigen können.

Wir haben bis jetzt die accidentellen Factoren, welche die Verhältnisse etwas complicirter machen, unberücksichtigt gelassen, wir wollen sie jetzt zu Hülfe nehmen und zwar zunächst nur einen von ihnen, den wichtigsten. Die vorhin unbestimmt gelassene Augenstellung soll nun in der Weise bestimmt werden, dass beide Augen einen Punkt *a* fixiren, beide Stellen des deutlichsten Sehens demselben gegenübergestellt werden. Es wird uns alsdann niemals begegnen, dass wir den gesehenen Punkt anders projiciren als in den Schnittpunkt der Visirlinien, welche in diesem Falle mit den Sehaxen oder Gesichtslinien zusammen fallen. Die Macht der Gewohnheit, welche schon vorher hervorgehoben wurde, ist in diesem besonderen Falle vorzugsweise gross; denn allemal richten wir, um einen Punkt genau zu betrachten, die centralen Regionen der Netzhäute ihm gegenüber und sind hier ganz besonders sicher, es stets mit einem einfachen Gegenstande zu thun haben. Die Schärfe des Sehens an dieser Stelle gewährt uns zugleich ein Mittel die Aehnlichkeit und Zusammengehörigkeit der beiden Retinabilder aufs Genauste zu würdigen. Das Bewusstsein der Convergenz der Sehaxen, die Schätzung des Convergenzwinkels, welche durch das Gefühl des Spannungsgrades in dem Augenmuskelapparat vermittelt wird, ist zugleich der sicherste Maassstab zur Beurtheilung der Entfernung, und da im Falle der Fixation auch der innere Muskelapparat des Auges sich der Entfernung des fixirten Punktes anpasst, so wirken hier alle Factoren zusammen, um eine richtige Beurtheilung der Entfernung des angeschauten Punktes und die Projection in den Schnittpunkt der Projectionslinien möglich zu machen.

Allein versetzen wir uns in ein ungünstigeres Verhältniss; entäussern wir uns der Hülfe der Fixation und Accommodation. Während der Punkt *a* sich auf beiden Retinen abbildet, richten wir die Sehaxen auf einen anderen Punkt *b* (Fig. 7) und accommodiren uns für denselben. Wenn das rechte Auge allein sähe, würde es das Bild a_r dahin verlegen, wo die Projectionslinie dieses Punktes die Projectionsphäre der Entfernung von *b* trifft, also nach α_r, das linke Auge würde, allein in Thätigkeit, das Bild a_l nach α_l verlegen. Sind nun beide Augen gleichzeitig in Function, so wird ein unbewusstes Schwanken des Urtheils, ein Streiten der Momente eintreten. Einerseits verlangt die Aehnlichkeit der Bilder a_r und α_l, dass die gemeinsame Lichtquelle derselben in den Schnittpunkt *a* beider Projectionslinien verlegt werde; andererseits besteht bei der Fixation und Accommodation für den Punkt *b* die Neigung, auch die Bilder a_r und a_l auf die dieser Accommodation zukommenden Projectionsflächen zu verlegen. Geschieht nun unter dem Einflusse gewisser ungünstiger Bedingungen Letzteres, so werden zwei Lichtquellen α_r und α_l gesehen, es findet Doppeltsehen statt.

Man hat irriger Weise bisher behauptet, alle vor und alle hinter dem Fixationspunkt, oder genauer, alle ausserhalb des Horopters gelegenen Objecte müssen aus theoretischen Gründen doppelt erscheinen, und da das factisch nicht der Fall ist, so half man sich mit der Annahme, das eine von beiden Doppelbildern werde vernachlässigt. Es sei vorläufig bemerkt, dass gerade in der sicheren Wahrnehmung der Tiefe und der Körperlichkeit, welche wohl zu unterscheiden ist von der unbestimmten und von zufälligen Einflüssen abhängigen Raum-Vorstellung — ein sicherer Beweis liegt, dass beide Netzhautbilder benutzt werden und wenigstens in der Regel keine Vernachlässigung oder Unterdrückung eines Bildes stattfindet. Die obige Deduction, welche später ausgeführt und bewiesen werden soll, ergiebt vielmehr, dass der Grund des Doppeltsehens in der unrichtigen Wahrnehmung des Ortes liegt. Dieselbe ist in dem erwähnten Beispiele durch Irrthum über die Entfernung des Gesichtsobjects verursacht, kann aber auch in anderen Fällen in einem Irrthum über die Sehrichtung begründet sein.

Drittes Capitel.

Die stereoskopischen Erscheinungen.

Eins der wichtigsten Hülfsmittel zur Analyse der binocularen Gesichtswahrnehmungen bieten uns Versuche, in denen wir unter geeigneten Bedingungen jedem Auge ein besonderes Bild darbieten, und das Zusammenwirken derselben zu einem gemeinsamen Resultat beobachten. Ist die Theorie, die wir über den Antheil jedes einzelnen Auges beim gemeinschaftlichen Sehact haben, richtig und ausreichend, so muss jedes Experiment dieser Art einer Erklärung fähig sein, ja es muss sich für jeden Fall der Effect vorausberechnen lassen. Dadurch, dass diese Versuche beliebige Variationen gestatten und in Bezug auf Leichtigkeit und Genauigkeit der Beobachtung nichts zu wünschen übrig lassen, bilden sie in der That den besten Prüfstein für die Richtigkeit Alles dessen, was über das binoculare Sehen behauptet wird.

Wenn jeder körperliche Gegenstand, in nicht zu grosser Entfernung gesehen, beiden Augen verschiedene Bilder liefert und diese die körperliche Wahrnehmung vermitteln, so musste eine solche körperliche Wahrnehmung auch entstehen, wenn beiden Augen unter passenden Verhältnissen gesonderte Bilder dargeboten wurden, von denen jedes den flächenhaften Eindruck eines Auges repräsentirt. Wheatstones geistreicher

Gedanke erwies sich als vollkommen richtig und führte ihn zu der Erfindung des Instruments, das heute eine so ungeheure Verbreitung gewonnen hat, dass es beinahe einen eigenen Industriezweig hervorgerufen hat.

Obgleich nach Wheatstone das Instrument von mehrfachen interessanten Gesichtspunkten aus studirt worden ist, so hat doch eine eigentlich systematische Anwendung zur Zergliederung des Wahrnehmungsvorgangs lange auf sich warten lassen und erst in ganz neuester Zeit haben Panum und Volkmann diesen Weg betreten. Da ein Theil der von mir angestellten Beobachtungen mit den von beiden Autoren veröffentlichten zusammenfällt, so will ich dieselben nicht ohne Noth wiederholen und nur die Punkte hervorheben, wo meine Beobachtung und Deutung eine abweichende ist.

Das dem Stereoskop zu Grunde liegende Princip besteht bekanntlich darin, die Verschmelzung zweier zusammengehöriger Bilder zu einem einfachen durch optische Hülfsmittel zu erleichtern. Durch Spiegel oder Prismen werden die von beiden Bildern kommenden Strahlen so in jedes Auge geleitet, als kämen sie von einem in der Mittellinie befindlichen Object; durch Convexgläser wird eine starke accommodative Anstrengung unnöthig gemacht; endlich sorgt eine passende Fassung des Instruments dafür, dass jedes Bild nur von einem Auge gesehen wird und daher kein störendes Doppelbild erzeugt. Es entstehen dann bei mässiger Convergenz der Sehaxen in den centralen Regionen der Netzhaut Bilder, wie sie entstehen würden, wenn im Schnittpunkte der Sehaxen ein körperliches, nach drei Dimensionen ausgedehntes Object sich befände. Das Resultat des Versuchs ist die unmittelbare, zwingende Wahrnehmung eines solchen Körpers; die Dimension der Tiefe, d. h. verschiedene Entfernung der einzelnen Punkte des Körpers, wird bei gut gefertigten Bildern mit solcher Energie wahrgenommen, während doch in den Bildern alle Punkte gleich weit vom Auge entfernt sind, und mit solcher Regelmässigkeit und Gleichmässigkeit von allen Beobachtern bestätigt, dass an dem Vorhandensein bestimmter Gesetze und Regeln, denen die Wahrnehmung folgt, unmöglich gezweifelt werden kann. In der That ist es ein ausserordentlich einfaches Gesetz, das allen stereoskopischen Erscheinungen zu Grunde liegt und dessen Auseinandersetzung dieser Abschnitt gewidmet ist.

Das Stereoskop selbst ist bei den hieher gehörigen Versuchen das Unwesentlichste. Ein Instrument ist überhaupt nicht nothwendig, sondern macht nur die Beobachtung bequemer und weniger anstrengend, bringt aber andererseits wieder Nachtheile mit sich, welche die Beobachtung mit blossem Auge vorziehen lassen. Hält man in mittlerer Sehweite zwei zusammengehörige stereoskopische Ansichten, deren Entfernung von einander ungefähr dem Abstande der Augencentra gleichkommt,

und richtet die Augenaxen parallel, so findet bei Solchen, die sich für diese Art der Beobachtung eingeübt haben, eine gleiche körperliche Wahrnehmung statt, wie unter dem Stereoskop. Meine Experimente sind meist auf diese Weise mit blossem Auge angestellt worden, wobei ich nur die Accommodation durch passende Convexgläser zu unterstützen pflegte.

Der Vorgang der Verschmelzung ohne Stereoskop scheint mir einer ausführlichen Erläuterung werth, da viele Versuche sich auf denselben zurückführen lassen. Folgender leicht anzustellende und beliebig zu modificirende Versuch möge zur Demonstration dienen.

Hält man etwa in zehn Zoll Entfernung vom Auge zwei verschiedenfarbige Stäbchen (Bleifedern) gerade vor sich senkrecht und im Abstande von etwa 2—$2^1/_2$ Zoll von einander, richtet dann den Blick in die Ferne, so beobachtet man, wie jedes der Stäbchen sich in zwei Bilder spaltet, von denen zwei, ein schwarzes und ein weisses, sich einander nähern bis sie in der Mittellinie sich decken und verschmelzen; während die andern beiden weniger deutlichen Bilder, gleichfalls ein schwarzes und ein weisses, sich nach aussen bewegen und zuletzt jedes von dem mittleren durch Verschmelzung entstandenen Bilder um die wirkliche Distanz der Stäbchen entfernt zu sein scheint. Es werden also schliesslich drei Stäbchen gesehen, von denen das mittlere deutlich, obgleich wegen unpassender Accommodation doch nicht ganz scharf, die beiden seitlichen dagegen weniger deutlich erscheinen; das mittelste Stäbchen entweder in einer grauen Mischfarbe oder abwechselnd bald schwarz, bald weiss, die seitlichen Bilder von natürlicher Farbe, das schwarze auf der Seite, wo wirklich das schwarze Stäbchen gehalten wird.

Wie ist dies Phänomen zu erklären? Nach der bisherigen Anschauung würde die Erklärung folgendermassen lauten: Beim Blick in die Ferne trifft ein Bild des schwarzen Stäbchens auf eine, ein Bild des weissen Stäbchens auf die andere Macula lutea resp. deren Meridian. Da diese identisch sind, werden beide verschmolzen in die Mitte des Gesichtsfeldes versetzt. Die beiden andern seitwärts von der Macula lutea fallenden Bilder werden, da sie auf nicht identische Netzhautstellen treffen, ihrer Excentricität entsprechend zu beiden Seiten des mittleren Stäbchens gesehen.

Es liegt auf der Hand, wie unzureichend diese Erklärung ist, die allerdings den Vorzug der Einfachheit zu haben scheint. Es entbehrt dieselbe der Anschaulichkeit, es lässt sich danach keine Construction für den Mechanismus der Wahrnehmung liefern. Was aber wichtiger ist, sie sagt zu wenig, wenn nicht geradezu Falsches. Was bedeutet der Ausdruck Mitte des Gesichtsfeldes? Die Lage des Gesichtsfeldes ist für beide Augen verschieden, wechselt ausserdem mit jeder Stellung der Augen. Auch Mitte des gemeinsamen Gesichtsfeldes ist kein

genügender Ausdruck; denn es wird dadurch höchstens eine Richtung, nicht ein bestimmter Ort bezeichnet. Dass die Erklärung, die ich für die Erscheinung nach früher ausgesprochenen Grundsätzen gebe, etwas complicirter ist, liegt, meine ich, nicht sowohl an der Unvollkommenheit der Erklärung, als an der Complicirtheit des Sachverhalts.

Sind die Augen für die Entfernung der Stäbchen accommodirt und die Sehaxen etwa auf einen Punkt zwischen beiden Stäbchen gerichtet, so entsteht von jedem Stäbchen (deren Durchschnitt a und b. Fig. 8 sein möge) auf jeder Netzhaut ein Bild, $a_{,}$ und $a_{,,}$, $b_{,}$ und $b_{,,}$. Die Stelle des directen Sehens befindet sich auf jedem Auge in der Mitte zwischen beiden Bildern. Richten sich nun die Augenaxen in die Ferne, so werden die Netzhautcentra in entgegengesetztem Sinne bewegt, so dass die Bilder $a_{,}$ und $b_{,,}$ successiv auf die Netzhautcentra zu liegen kommen. Unter Vernachlässigung der wirklich vorgegangenen Bewegung der Augen wird die Bewegung der Bilder auf der Netzhaut auf die Objecte übertragen; dieselben scheinen im umgekehrten Sinne, d. h. gegeneinander eine Bewegung zu machen, bis sie sich decken. Gleichzeitig gelangen aber auch die Bilder $b_{,}$ und $a_{,,}$ auf andere Netzhautstellen. Auch diese Bewegung wird den Objecten beigelegt; dieselben scheinen nach aussen zu rücken. Hierdurch entsteht das Spalten der Stäbchen in je zwei Bilder.

Sind nun die Augen in Einstellung für grosse Ferne, so sollten gemäss des Accommodationsbewusstsein die sämmtlichen Bilder in entsprechender Ferne projicirt werden. $a_{,}$ und $b_{,,}$ würden dann über a und b hinaus in c zur Deckung gelangen, $a_{,,}$ nach α und $b_{,}$ nach β zu projiciren sein, obgleich die zusammengehörigen Projectionslinien sich in a und b schneiden. Man sollte also erwarten, in der Mitte ein schwarzweisses, zu beiden Seiten ein schwarzes und ein weisses Stäbchen zu erblicken, alle drei aber weit entfernt und der Entfernung angemessen stark vergrössert. Letzteres ist nun durchaus nicht der Fall, vielmehr tritt in der Entfernung, in der die Bilder gesehen werden, kaum eine merkbare Veränderung ein; die Anordnung der drei Stäbchenbilder ist aber im Uebrigen die von der Theorie verlangte: Statt dass zwei Bilder von a und b nach c in die Ferne rücken und dort verschmelzen, nähern sie sich vielmehr auf dem kürzesten Wege und confluiren, ohne sich zu vergrössern; ebenso rücken die beiden andern Bilder nicht in die Ferne und nach aussen sondern gerades Weges nach aussen. Es schieben sich die Dreiecke aLb und aRb (Fig. 8) über einander fort, so dass sie die in der Fig. 9 verzeichnete Lage erhalten. Es geschieht dies ohne Zweifel deshalb, weil Grösse und Entfernung der Objecte uns von vorhin nie bekannt sind und eine Projection in weite Ferne mit starker Vergrösserung uns nicht geläufig ist. Um diesem Dilemma aus dem Wege zu gehen, ändern wir die Vorstellung von der Stellung der Augen

und nehmen an, sie stehen convergent, während doch in Wirklichkeit die Sehaxen nahezu parallel gerichtet sind. Das scheint uns leichter zu werden als eine falsche Vorstellung von der Grösse und Entfernung der Stäbchen anzunehmen.

Der directe Beweis für die Täuschung, der wir betreffs der Augenstellung unterliegen, liegt darin, dass wir, was bekanntlich unter anderen Verhältnissen nicht der Fall ist, die Stäbchen eine Scheinbewegung machen sehen, dass wir also die vor unsern Augen gemachte Bewegung fälschlich den Bildern zuschreiben, die Augen dagegen für in der alten convergenten Stellung verblieben ansehen. Zum Ueberfluss kann man sich noch durch folgenden Versuch von der Richtigkeit des Gesagten überzeugen. Man fixire beide Stäbchen, lege sie etwa auf ein weisses Blatt und richte nun die Sehaxen parallel. Hat man die drei Bilder, von denen das mittlere das Verschmelzungsstäbchen ist, im Auge, so fahre man schnell mit den Zeigefingern beider Hände an den vermeintlichen Ort des mittleren Stäbchens. Man trifft dann niemals ein Stäbchen sondern eine leere Stelle zwischen beiden mitten inne; ein im buchstäblichen Sinne handgreiflicher Beweis, dass das Bewusstsein von der Stellung der Augen alterirt ist. Führt man den Finger ganz langsam auf das mittlere Stäbchen, so corrigirt man, da man den Finger sieht und verfolgt, die falsche Richtung und gelangt auf eines von beiden Stäbchen. Aber während wir glauben, den Finger in die Mittellinie gebracht zu haben, befindet er sich zur Seite auf einem der Stäbchen; es ist nun unter dem Einfluss der falschen Gesichtswahrnehmung auch das Muskelgefühl in dem Arme gestört worden. — Ich bemerke, dass die Stäbchen zuweilen etwas vergrössert und ferner gesehen werden, dies ist besonders mit dem mittleren Stäbchen dann der Fall, wenn die seitlichen Bilder abgeschnitten werden, so dass jedes Stäbchen sich nur auf der centralen Parthie einer Netzhaut abbilden kann. Es scheint, als wenn die Gegenwart der Doppelbilder die Täuschung über Grösse und Entfernung erschwert. —

Jedem, der den Versuch ausführt, wird es auffallen, dass die Augenstellung, in welcher ein Verschmelzen zweier Bilder vor sich geht, wenn einmal eingenommen, leicht festgehalten wird. Selbst wenn die zur Deckung gebrachten Objecte erhebliche Verschiedenheiten zeigen, ist doch die Neigung zur Vereinigung der Bilder sehr gross; es ist, als zögen sich die Bilder gegenseitig an. Bei kleinen Objecten oder solchen, die in die Breite mehr ausgedehnt sind, ist dies in geringerem Grade der Fall. Senkrechte Contouren üben den kräftigsten Zwang zur Vereinigung aus; sie sind mit Recht dominirende Contouren genannt worden. Offenbar kommt bei der Tendenz zur Verschmelzung die Macht der Gewohnheit ins Spiel. Da wir Gegenständen, die wir genauer anschauen, aus Gründen der Deutlichkeit stets die centralen Netzhautregionen

gegenüberstellen, so bildet sich für diese Stelle eine entschiedene Neigung aus, die auf ihnen entstehenden Bilder auf einen einfachen Körper zu beziehen, und das geschieht selbst wenn die Bilder keineswegs vollkommen übereinstimmen. Enthalten die Bilder eine genügende Zahl dominirender Punkte und Linien, so ist die Tendenz zur Combination so gross, dass selbst das richtige Bewusstsein von der Stellung der Augen dadurch überwunden wird. Ganz etwas Aehnliches geschieht, wenn man ein Prisma mit der Basis nach aussen oder innen vor ein Auge hält. Anfangs sehen wir doppelt, bald aber vereinigen wir unwillkürlich die Bilder und sehen einfach, doch gleichfalls, worauf ich später zurückkomme, auf Kosten der richtigen Vorstellung von der Stellung der Augen.

Durch passende Variationen des beschriebenen Experiments wird man, glaube ich, die Ueberzeugung von der Richtigkeit obiger Erklärung gewinnen, während es meines Erachtens unmöglich ist, die Einzelheiten, namentlich die Scheinbewegungen, mittelst der Identitätshypothese zu erklären.

Von Interesse ist noch die Abänderung des Versuchs, dass man einen Punkt diesseits der Stäbchen fixirt, der so gelegen ist, dass gerade die Stellen des directen Sehens von den Stäbchenbildern getroffen werden. Man sieht dann ebenso drei Stäbchen, von denen das mittlere aus zwei Bildern verschmolzen ist, das rechte und linke jede Farbe des wirklich rechts und links befindlichen Stäbchens zeigen. Die Erwartung, dass die Bilder in grössere Nähe projicirt und daher kleiner erscheinen, wird nicht regelmässig bestätigt. Deutlicher tritt dies hervor, wenn man an Stelle der Stäbchen andere Objecte wählt, z. B. zwei kleine Kugeln. Das Verschmelzungsbild erscheint dann viel kleiner und näher als die beiden seitlichen Bilder, ein Beweis, dass wir nicht immer genöthigt sind die Doppelbilder in gleiche Entfernung zu projiciren.

Ein Analogon zu dem Stäbchenversuch, wo das Muskelgefühl alienirt ist, bildet die bekannte Erscheinung, dass, wenn man sein Bild im Spiegel mit parallelen Sehaxen betrachtet, beide Gesichtshälften sich übereinder schieben und zum Theil decken. Zwischen zwei Nasen sieht man ein Auge, welches auf jeder Seite eine Carunkel hat.

Die eigentlich stereoskopischen Versuche lassen sich sämmtlich auf einen sehr einfachen Fundamentalversuch zurückführen, der die Erklärung aller hieher gehörigen Erscheinungen enthält.

Man biete jedem Auge zwei in horizontaler Richtung neben einander liegende Punkte dar, deren Abstand für das eine Auge etwas grösser ist als für das andre. Beide Punktpaare müssen in einer der Grundlinie

parallelen Linie liegen, und der Abstand beider wird, wenn man ohne Stereoskop experimentirt, 2—2½ Zoll betragen müssen.

Fig. 1.

Richtet man nun beide Sehaxen parallel, so nähern sich die Punktpaare mehr und mehr und gelangen endlich zur Verschmelzung. Man gewahrt alsdann zwei Punkte, von denen der eine deutlich aus der Ebene des Papiers herausgerückt und dem Auge näher zu liegen scheint. Bei obiger Anordnung ist der rechte Punkt der vordere. Liegt dagegen das engere Punktpaar links, das weitere rechts, so erscheint beim Verschmelzen der linke Punkt vorne. Wechselt man ferner den Abstand der Punkte von einander, lässt man namentlich den Unterschied in den Abständen beider Paare wachsen und fallen, so findet man, dass die Herausrückung aus der Ebene um so bedeutender ausfällt, je grösser der Unterschied der Abstände ist. Dies lässt sich jedoch nur bis zu einer gewissen Gränze beobachten, über welche hinaus eine Verschmelzung der vier Punkte zu zweien nicht mehr erfolgt. Dann verschmilzt in der Regel nur ein Punkt beider Paare, bald der rechte, bald der linke, während die andern unverschmolzen bleiben und nur je zuweilen für kurze Augenblicke sich vereinigen und die Ebene des Papiers verlassen, um dann wieder unvereinigt in die Ebene zurückzutreten. Man wird in einiger Verlegenheit sein, will man im obigen Falle angeben, welchen Abstand die Punkte nach der Vereinigung haben, ob den Abstand des weiteren oder engeren Paars. Nach oberflächlicher Beobachtung wird man sagen, der Abstand sei ein mittlerer. Bei genauerer Betrachtung aber erkennt man bald, dass man die Grösse der Distanz verschieden beurtheilt, je nachdem man mehr den Eindruck des einen oder des andern Auges die Aufmerksamkeit zuwendet, also den Gesichtswinkel berücksichtigt unter dem die Punkte dem einen oder andern Auge erscheinen. Dies erscheint ganz natürlich, wenn man bedenkt, dass beide Punkte in verschiedener Entfernung vor der Angesichtsfläche zu liegen scheinen und daher der Gesichtswinkel sich nothwendig ändert, je nachdem man mit dem rechten oder linken Auge visirt. Die wirkliche Entfernung der Verschmelzungspunkte von einander wird im obigen Versuch, sobald man die Tiefenunterschiede deutlich wahrnimmt, mit Sicherheit grösser geschätzt, als der Abstand in beiden componirenden Punktpaaren beträgt.

Die Erklärung des Versuchs geht aus den früheren Betrachtungen unmittelbar hervor. L und R (Fig. 10) seien die Augen, $a, b_{,,}$ die Ebene des Papiers im Durchschnitt, $a, b,$ und $a_{,,} b_{,,}$ die verschieden distanten Punktpaare in dieser Ebene. Wie bei dem oben besprochenen Versuch mit zwei Stäbchen nähern sich beim Uebergange in die parallele Augen-

stellung die Punktpaare und gehen in der Mittellinie in einander über. $a_,$ und $a_{,,}$ vereinigen sich zu A, d. h. die Visirlinien der Netzhautbilder $\alpha_,$ und $\alpha_{,,}$ schneiden sich in dem Punkte A; $b_,$ und $b_{,,}$ können nicht so ohne Weiteres in derselben Ebene verschmelzen, wie dies der Fall wäre, wenn beide Punktpaare gleichweit $a_, b_, = a_{,,} b_{,,}$ wären. $b_,$ das Bild des linken Auges erscheint diesem Auge in der Richtung $b_, \beta_,$. Das Bild $b_{,,}$, welches dem rechten Auge angehört, wird von diesem in der Richtung $b_{,,} \beta_{,,}$ gesehen. Beide Visirlinien schneiden sich aber in B, und das ist der Ort, an dem der Verschmelzungspunkt wahrgenommen wird. Dieser ein Stück diesseits der Ebene $a_, b_{,,}$ befindliche Schnittpunkt beider Projectionslinien wird vom linken Auge in der erforderlichen Richtung $\beta_, b_,$, vom rechten Auge in der Richtung $\beta_{,,} b_{,,}$ gesehen, und gerade wie der Verschmelzungspunkt von $a_,$ aus $a_{,,}$ in den Schnittpunkt der beiden ihm zugehörigen Projectionslinien verlegt wird, so wird der Verschmelzungspunkt von $b_,$ und $b_{,,}$ in den Schnittpunkt der beiden Punkten entsprechenden Projectionslinie verlegt. — Von L aus gesehen scheint die Winkeldistanz der Punkte A und B dem Stück $a_, b_,$ auf der Bildebene zu entsprechen, wie auch von R aus der gleiche Abstand auf die Ebene projicirt gleich $a_{,,} b_{,,}$ ist. Es leuchtet also ein, dass wir die Distanzen $A\, b_,$ und $A\, b_{,,}$ als perspectivische Verkürzungen einer und derselben Distanz AB auffassen.

Ein Blick auf die obige Construction lehrt ohne Weiteres, dass, je grösser die Distanz $b_, b_{,,}$, der Unterschied des Abstands in beiden Punktpaaren ist, um so weiter der eine Verschmelzungspunkt vor dem andern liegen muss, dass sowohl der Abstand des Punktes B von der Ebene in der die Bilder sich befinden, als der Abstand der Punkte A und B von einander mit der Grösse von $b_, b_{,,}$ wächst. Man sieht ferner leicht ein, dass eben so gut wie beide linke Punkte $a_,$ und $a_{,,}$ in der Bildebene verschmelzen können, dies auch mit $b_,$ und $b_{,,}$ geschehen kann, in welchem Falle dann der Vereinigungspunkt A in den Kreuzungspunkt der beiden Projectionslinien $a_, \alpha_,$ und $a_{,,} \alpha_{,,}$ fällt (Fig. 11). Derselbe scheint dann ein entsprechendes Stück hinter der Bildebene zu liegen, und der auf Seite des engern Punktpaares liegende Verschmelzungspunkt bleibt auch dann der vordere. Umgekehrtes findet dagegen, wie eine analoge Constitution lehrt, statt, wenn das linke Punktpaar das engere ist. Mögen dann die rechten oder die linken Punkte der componirenden Paare verschmelzen, immer ist der linke Verschmelzungspunkt der vordere, dem Auge näher liegende. Alles in vollkommener Uebereinstimmung mit den oben erwähnten Versuchen.

Die Entfernung des einen Verschmelzungspunktes vor oder hinter der Ebene des Papiers ist, wie aus der Construction hervorgeht, keine willkürliche, zufällige, sondern eine bestimmte, nothwendige; sie hängt ab: 1) von dem Distanzunterschiede beider Punktpaare $b_, b_{,,} = d$; 2) von

der Entfernung der Ebene des Papiers, von der Grundlinie $cD = e$; 3) von dem Abstande beider Augen von einander, der Länge der Grundlinie $LR = g$, die ungefähr gleich $2^1/_2$ Zoll gesetzt werden kann. Für den ersten Fall in der Fig. 10 verhalten sich in den ähnlichen Dreiecken $Bb,b_{,,}$ und BLR die Grundlinien wie die Höhen

$$BD : BC = LR : b,b_{,,}$$

oder nach obigen Bezeichnungen, $Bc = x$ gesetzt

$$e-x : x = g : d$$

$$\text{also } x = \frac{de}{g+d}$$

Für den zweiten Fall Fig. 7 ergiebt sich die Proportion

$$e+x : x = g : d$$

$$\text{also } x = \frac{de}{g-d}$$

Letzterer Werth mit kleinerem Nenner ist offenbar grösser; also erscheint die Distanz der Verschmelzungspunkte grösser, wenn der eine von ihnen hinter der Ebene des Papiers gesehen wird. Ist z. B. die Entfernung des Papiers vom Auge $e = 8$ Zoll, der Unterschied der Abstände in beiden Punktpaaren $= 1$ Linie, so erscheint entweder der Punkt B 3.1 Linie vor, oder der Punkt A 3.2 Linien hinter der Ebene des Papiers.

Die Entfernung der stereoskopisch verschmolzenen Punkte A und B ist als Hypotenuse des Dreiecks ABC leicht zu bestimmen, wobei ausser den obigen Daten noch die wirkliche Distanz der beiden Punktpaare in Rechnung kommt. Es sei $Ab_{,,} = m$ und Ac annährungsweise $= m+{}^1/_2 d$; dann ist

$$AB = \sqrt{(m+{}^1/_2 d)^2 + \left(\frac{de}{g+d}\right)^2}$$

Im obigen Beispiel $m = 3$ Linien gesetzt, wird die Entfernung AB 4.67 Linien betragen.

Diese Berechnung hat natürlich nur den Werth und den Zweck, zu zeigen, dass die Combination je zweier Punkte in stereoskopischen Bildern nicht etwa dem Zufall, der Willkür unterworfen, oder wie z. B. Volkmann will, Folge der Unaufmerksamkeit ist, sondern ganz bestimmten Gesetzen folgt, so dass der stereoskopische Effect sich mit mathematischer Bestimmtheit vorausberechnen lässt. Die Entfernungen und Dimensionen der stereoskopischen Bilder lassen sich übrigens bei einiger Uebung mit ziemlicher Genauigkeit schätzen und werden mit der Rechnung stets in Einklang befunden. Wer diese Uebung besitzt, wird an der Richtigkeit der hier aufgestellten Erklärungen nicht zweifeln können. Eine inconstante, regellose Tiefenwahrnehmung, die durch ein-

zelne ungleiche Bilder erzeugt würde, liesse sich vielleicht als unbestimmtes Bewusstsein von der mangelhaften Deckung der Punkte deuten. Sieht man jedoch, dass jeder seitlichen Abstandsdifferenz in den Einzelbildern eine ganz bestimmte Tiefendifferenz im Verschmelzungsbilde entspricht, die sich genau vorausbestimmen lässt, dann wird man den Zweifel an der Gesetzmässigkeit aufgeben müssen. So sehr Manche sich dagegen sträuben, dem wahrnehmenden Geiste eine geometrische Construction zuzumuthen, so wird doch durch die Gesammtheit der Erscheinungen jeder Zweifel in dieser Beziehung beseitigt. Man hat bei häufiger Wiederholung der einfachsten stereoskopischen Versuche oft genug Gelegenheit den Mechanismus der Wahrnehmung gewissermassen auf der That zu ertappen, und wer Aehnliches erfahren, wird es mir nicht als Phantasie auslegen, wenn ich berichte, wie ich mich zuweilen bei gewissen Versuchen, so zu sagen bei der Ziehung der Projectionslinien, im Acte des Visirens überrascht habe. Es ist das der Ausdruck dafür, dass auch dieser geistige Process einen gewissen Zeitraum in Anspruch nimmt, der allerdings meistens so unmessbar kurz ist, dass er zu fehlen scheint, der aber unter manchen Bedingungen doch zur Perception gebracht werden kann.

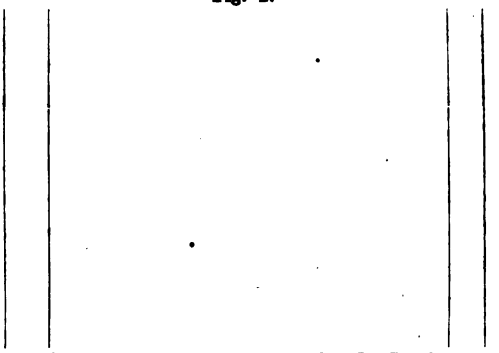
Um nun ein tieferes Eindringen in die stereoskopische Wahrnehmung möglich zu machen, ist es rathsam, eine grössere Zahl von Versuchen mit mannigfaltigen Variationen, wie ich deren in der Folge einige angebe, vorzunehmen, an demselben Versuche kleine Veränderungen anzubringen, bei demselben Versuch etwas zu verweilen, weil bei sehr einfachen Bildern oft erst nach längerem Betrachten den Eindruck der Tiefendifferenz mit voller Intensität hervortritt. Ich habe es zweckmässig gefunden, das Stereoskop ganz aus dem Spiele zu lassen, und das freie Auge, nur zur Correctur der Adaption mit Convexgläsern versehen, zu benutzen. Man belauscht so besser die Vorgänge in statu nascenti, während das allerseits geschlossene Instrument zu viel verdeckt. Die zuweilen etwas störenden seitlichen Nebenbilder hören bald auf zu accommodiren.

Die erste und einfachste Variation des Fundamentalversuchs ist die, zwei senkrechte*) parallele Linienpaare von verschiedener Distanz stereoskopisch zu vereinigen. (Fig. 2.)

---

*) Senkrechte nenne ich der Kürze halber die der Medianebene parallele Richtung, die also auf einer der Grundlinie parallelen Linie normal steht.

Fig. 2.



Dann liegt im Sammelbilde, während beide Linien parallel und seitlich distant bleiben, die eine vor der andern, dem Beobachter näher, und zwar ist die Linie die vordere, welche auf Seite des engeren Linienpaares liegt, für obige Figur also die rechte. Dass die Verschmelzung stattfindet, und welche Linien sie betrifft, kann man noch speciell prüfen, wenn man an jede Linie kleine Abzeichen anbringt, die sich dann im Sammelbilde wiederfinden.

Man wird, wenn man darauf achtet, schon bei der Verschmelzung von Linienpaaren von gleicher Distanz das stereoskopische Phänomen der räumlichen Bestimmtheit beobachten und den grossen Unterschied nicht verkennen können, der den binocularen Eindruck vor dem monocularen auszeichnet. Nicht allein, dass die Combinationspunkte oder Linien eine mehr gesättigte Schwärze und schärfere Abgrenzung haben, dies sogar, wenn man ohne accommodatives Corrigens experimentirt, da trotz der starken Zerstreuungskreise ein gutes Bild zu Stande kommt, bei dem die Zerstreuungskreise viel weniger auffallen, als bei den Einzelbildern, — man gewinnt auch ein klares Bewusstsein von der Stellung der Bilder im Raum. Sie erscheinen zwar in der Ebene des Papiers, aber doch scheinen sie in der Luft zu schweben und machen einen durchaus andern Eindruck als gewöhnliche auf das Papier gezeichnete Linien. Die Fläche, in der wir das Bild sehen, wird später noch eine Wichtigkeit gewinnen. Ausserdem bemerkt man, dass die Combinationsbilder eine Art Hof um sich haben, eine schmale Atmosphäre von reinerer Weisse und einem gewissen Glanze; es tritt das besonders hervor, wenn die Linien etwas stark gezogen werden. Ohne für jetzt näher hierauf einzugehen, mache ich nur auf die Verwandtschaft mit dem Dove'schen stereoskopischen Glanzphänomen und mit den schönen Versuchen im ersten Theile der Panum'schen Arbeit aufmerksam.

Aendert man successiv die Grösse der Abstandsdifferenz der Linienpaare, so kommt man bald zu einer Grenze, über welche hinaus eine Combination nicht mehr möglich ist. Versucht man diese Grenze zu bestimmen, so stösst man auf grosse Schwierigkeiten. Zu einer Zeit

vereinigt man Linien mit völliger Leichtigkeit, die zu anderer Zeit gesondert bleiben, der Geübte vereinigt leichter als der Ungeübte, aber der Geübte trennt auch leichter, er vermag, wenn er seine Intention darauf richtet, von der Schneidung der Projectionslinien zu abstrahiren und über den Schnittpunkt hinaus in die Papierebene zu projiciren, gerade wie wir auch durch Aufmerksamkeit die Bilder wirklich einfacher Objecte zu trennen und doppelt zu sehen vermögen, worin Mancher eine grosse Virtuosität besitzt, während Anderen das kaum je gelingt.

Oft tritt bei bedeutenderen Unterschieden in der Weite der Linienpaare ein merkwürdiges Phänomen ein. Gelingt auch für gewöhnlich die Verschmelzung nicht, so vereinigen sich doch zuweilen bei anhaltender Betrachtung zwei Linien zu einer dunkelschwarzen weit vorn gelegenen Linie, die aber nicht lange einfach bleibt, sondern in ihre Bestandtheile zerfällt, in zwei weniger schwarze in der Papierebene gelegene Linien, so dass man im Sammelbilde neben einer combinirten Linie zwei uncombinirte Linien sieht. Häufig tritt dann ein unruhiger Wechsel von Verschmelzen und Auseinanderfallen ein. Man wird bemerken, dass die Weite der Linienpaare hierbei nicht ohne Einfluss ist, je grösser dieselbe um so grösser darf auch die Weitendifferenz sein ohne Schaden für die Combination. Was ist der Grund dieser unvollkommenen Vereinigung oder Nichtvereinigung? — Zwei mächtige Factoren, welche in dem ganzen Gebiete der Sinneswahrnehmung die Herrschaft führen, sind die Gewohnheit und die Zweckmässigkeit, beide eng verbunden, oft zusammenfallend. Wir sind ceteris paribus geneigt wahrzunehmen, was wir oft wahrnehmen und worin wir einen vernünftigen Zusammenhang erkennen. Eine Vorstellung ist leichter hervorzurufen, wenn sie schon einmal da war oder wenn wenigstens eine ähnliche da war, als wenn sie ganz neu construirt werden muss. — Diese höheren geistigen Thätigkeiten kommen hauptsächlich dann ins Spiel, wenn der Act der Wahrnehmung nicht ein ganz einfacher und vollständiger ist, sondern irgend welche Schwierigkeiten bietet und einer Ergänzung durch die Vorstellung bedarf. Wo hingegen das in den Netzhautbildern enthaltene Material zur Wahrnehmung genügende Data bietet, wo der gewöhnliche Mechanismus der Wahrnehmung ausreicht eine Vorstellung zu erzeugen, da behauptet der Wahrnehmungsact den höheren Geistesthätigkeiten gegenüber eine gewisse Selbstständigkeit. Bei den mageren, nackten Versuchen mit Punkten und Linien scheinen Gewohnheit und Zweckmässigkeit wenig in Betracht zu kommen, weil wir da Dinge sehen, die wir weder besonders oft, noch besonders gerne sehen, aber einiger Einfluss zeigt sich doch schon hier. Bei der Betrachtung von Objecten pflegen wir deren Hauptfläche möglichst in eine der Angesichtsfläche parallele Ebene zu bringen, nicht aber schräg zu stellen, am wenigsten so, dass sie beinahe in die Medianebene des Körpers fällt. Im ersten Falle können

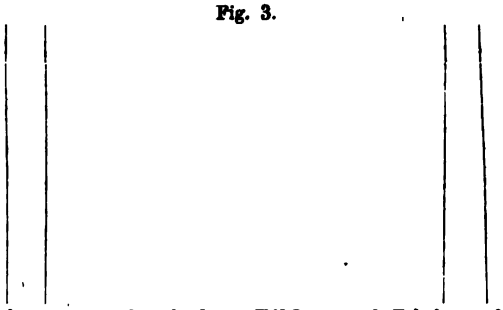
wir die Eindrücke beider Augen gleichzeitig benutzen, im zweiten Falle wird fast nur der Eindruck des einen Auges benutzt. Eine solche ungewöhnliche und unnatürliche schräge Stellung würde bei grosser Weitendifferenz der zu combinirenden Linienpaare die durch beide Combinationslinien gelegte Ebene einnehmen, — dies um so mehr, je geringer gleichzeitig die Weite des engeren Paares ist. Die eine Combinationslinie wird sehr weit aus der Ebene des Papiers herausgerückt sein, denn je grösser die Weitendifferenz der Componenten, um so grösser die Tiefendifferenz des Compositums. Dies widerspricht der Gewohnheit, und da keine Gründe vorliegen, welche dem gegenüber eine Vereinigung erheischen, da wir kein Interesse daran haben, ob wir einen Punkt oder eine Linie mehr oder weniger sehen, so lassen wir die Bilder unvereinigt. Anders ist es, wenn wir complicirte Figuren benutzen, wenn wir z. B. die senkrechten Parallelen durch mehrere Horizontale, besonders an den Endpunkten verbinden oder noch eine passende Schattirung hinzufügen. Dann gelingt die Vereinigung auf Grund grösserer Zweckmässigkeit viel leichter.

Dieser Punkt scheint mir der wichtigste zu sein, doch wirken wohl noch andre Momente mit. Aus diesen und andern Thatsachen geht hervor, dass wir dazu incliniren, vorzugsweise die den Stellen des directen Sehens nahe fallenden Bilder in gleiche Entfernung zu verlegen, weil das eben dem gewöhnlichen Gebrauch unseres Sehorgans entspricht. Fast noch wichtiger ist die Erfahrung, die wir bei den Experimenten mit physiologischem Doppeltsehen machen, dass Gegenstände von relativ grossem Tiefenabstande sehr schwer gleichzeitig einfach gesehen werden. Zwei hinter einander gehaltene Finger können bei geringem Abstande beide einfach erscheinen, während bei grösserem Abstande stets der eine doppelt gesehen wird. In gleichem Falle befindet sich das stereoskopisch gesehene Linienpaar. — Auch die Accommodation ist vielleicht ein Moment, das an obigem Resultat Theil hat. Stände ein Bild in der Tiefendimension so weit von dem andern ab, wie Parallellinien von starker Weitendifferenz es erfordern würden, so müsste die eine Linie in starken Zerstreuungskreisen gesehen werden, wenn die andere fixirt wird. Der Mangel derselben könnte darauf hinleiten, dass die Bilder einer Ebene angehören und trägt möglicherweise dazu bei die Projection in diese Ebene zu begünstigen. Jedenfalls ist aber der Einfluss der Accommodation ein untergeordneter.

Weitere Modificationen des Grundexperiments sind folgende:

Einem Auge stelle man ein senkrechtes paralleles Linienpaar gegenüber, dem andern ein ähnliches, wo aber die eine Linie um ein Geringes vom Parallelismus abweicht. Es sei z. B. im rechten Linienpaar die rechte Linie mit dem oberen Ende ein wenig nach links geneigt, während am untern Ende die Weite beider Paare gleich ist.

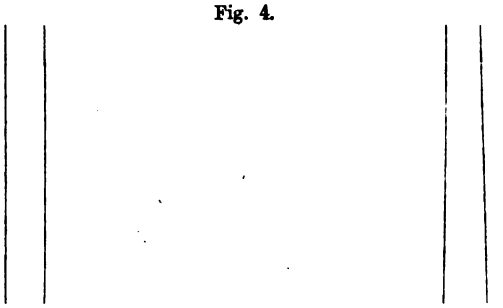
Fig. 3.



Man sieht im stereoskopischen Bilde zwei Linien, bei denen eine seitliche Neigung kaum wahrnehmbar ist. Die linke liegt ganz in der Ebene des Papiers, die rechte aber hat eine schräge Richtung gegen diese Ebene und zwar so, dass sie sich mit dem unteren Ende in der Ebene des Papiers befindet, mit dem oberen dagegen nach vorne hervorragt.

Aendert man den Versuch dahin ab, dass die wie vorhin gerichtete rechte Linie des rechten Paars, oben gleich weit, unten aber weiter von ihrer Nachbarin absteht, als die Distanz des linken Linienpaares beträgt,

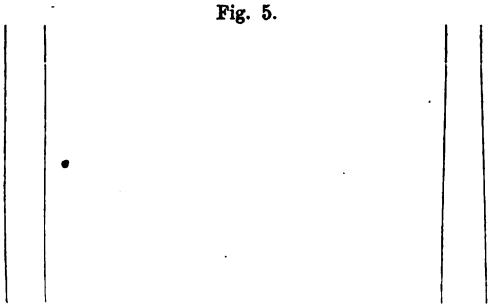
Fig. 4.



so ändert sich der stereoskopische Effect nur insoweit, dass die ebenso schräg gerichtete rechte Combinationslinie mit ihrem oberen Ende in der Ebene des Papiers liegt, mit dem untern dagegen nach hinten hinausragt.

Richtet man endlich unter Beibehaltung der übrigen Bedingungen die Distanz der Linien so ein, dass in beliebiger Höhe etwa in der Mitte die Weite beider Paare gleich ist, so scheint im Sammelbilde die

Fig. 5.



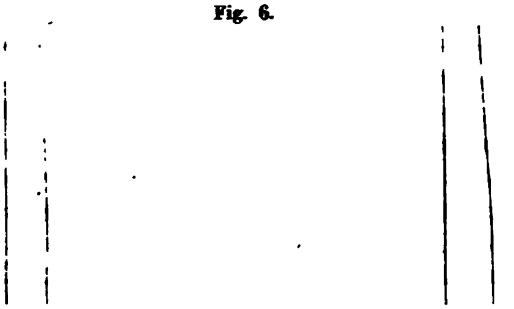
rechte Linie stets mit dem Punkte in der Ebene des Papiers zu liegen, welcher der Stelle der gleichen Weite in beiden componirenden Paaren entspricht. — Unter welchem Winkel die schräge Combinationslinie gegen die Ebene des Papiers geneigt scheint, hängt von dem Grade der Schiefheit der rechten Linie des rechten Paares ab; je mehr diese vom Parallelismus abweicht, um so stärker ragt die Linie im Sammelbilde nach vorn oder hinten hervor, und um so mehr wird auch eine seitliche Neigung im gleichen Sinne aber bedeutend geschwächten Grade im Sammelbilde beobachtet. Ist die Convergenz sehr erheblich, so geschieht keine Verschmelzung mehr, sondern die beiden in ihrer Richtung zu sehr disharmonirenden rechten Linien der Einzelbilder bleiben im Sammelbilde gesondert und kreuzen sich in der Ebene des Papiers.

Es versteht sich, dass diese Versuche unmittelbare Ausflüsse des ersten Versuchs mit ungleichen Punktpaaren sind, und es ist kaum nöthig hinzuzufügen, dass die Erklärung direct aus der für jenen gegebenen resultirt. Jede der vier Linien kann angesehen werden als bestehend aus einer unendlichen Zahl von Punkten und für je vier in derselben Horizontallinie gelegene Punkte wiederholt sich die obige Construction. Wo die in gleicher Höhe befindlichen Punktpaare der Einzelbilder von ungleicher Distanz sind, da erscheint ein Combinationspunkt aus der Ebene herausgerückt und zwar ist jederzeit der der vordere, der auf Seite der geringeren Distanz liegt.

Es wird nicht überflüssig sein, sich den Effect einiger fernerer Modificationen dieser instructiven Experimente zu vergegenwärtigen. Wie bisher eine, so kann jede der vier Linien in ihrer Lage in der bezeichneten Weise mehrfach verändert werden, es können zwei, drei oder alle vier Linien gleichzeitig entweder im gleichen oder entgegengesetzten Sinne geneigt werden, und durch die Combination aller dieser Fälle entsteht eine unendliche Menge von Möglichkeiten, die stets ein andres stereoskopisches Bild produciren. Für jede beliebige Zusammenstellung der vier Constituenten der Bilder lässt sich allemal der Effect mit Sicherheit vorausbestimmen und, wenn man will, berechnen. Es waltet dabei die grösste Regelmässigkeit und Constanz ob. Ich hebe noch aus der Zahl der Variationen einige als Paradigmata hervor.

In beiden Linienpaaren sollen nur die einen auf gleicher Seite gelegenen Linien einander parallel sein, die andern geneigt, einmal im gleichen, einmal im entgegengesetzten Sinne. Es ist dann zu untersuchen, in welchen Fällen die Schiefheiten der auf gleicher Seite befindlichen sich summiren, in welchen sich subtrahiren. Beide linken Linien seien senkrecht, die rechten sollen im gleichen Sinne aber in verschiedenem Grade vom Parallelismus abweichen.

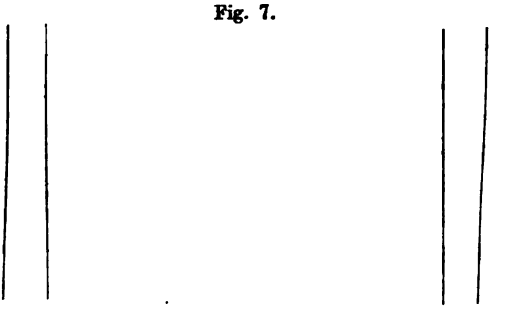
Fig. 6.



Im stereoskopischen Bilde wird die linke Linie in der Ebene des Papiers erscheinen, die rechte ist mit dem obern Ende ein wenig nach links geneigt und ragt etwas, aber unbedeutend mit dem untern Ende aus der Ebene des Papiers heraus. Die Schiefheiten summiren sich nicht in Bezug auf die Tiefendistanz, was auch leicht erklärlich. Wäre die rechte Linie des linken Bildes der rechten Linie des rechten Bildes parallel, so würde bei gleichem Abstand von der linken Linie die rechte Linie des Sammelbildes in der Ebene des Papiers liegen, nur der Ueberschuss an Schiefheit kann hier als Neigung gegen die Ebene des Papiers zur Geltung kommen.

Wiederum seien die linken Linien senkrecht und parallel, die rechten im entgegengesetzten Sinne geneigt, die eine mit dem oberen Ende nach links, die andere nach rechts.

Fig. 7.

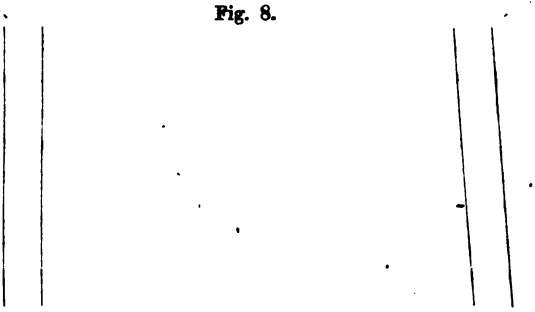


Während die linke Combinationslinie in die Ebene des Papiers fällt, ist die rechte stark schräg gegen dieselbe geneigt, das obere Ende hinten, das untere vorn. Dabei aber scheint die Linie in einer der Medianebene parallelen Ebene zu liegen, eine seitliche Neigung gegen die linke Combinationslinie findet nicht statt, sofern wie in obiger Figur die Schiefheiten im entgegengesetzten Sinne gleich gross sind. In Bezug auf die seitliche Neigung der Verschmelzungslinie haben sich also die Schiefheiten ausgeglichen, während sie sich in Bezug auf die Neigung zur Bildebene summirt haben, ein Resultat, was auch erwartet werden musste, da die Abstandsdifferenzen der in gleicher Höhe befindlichen Punkte vom oberen Ende nach der Mitte zu fallen und von da gegen das untere

Ende wiederum wachsen. Die obere Hälfte der rechten Combinationslinie liegt demgemäss jenseits, die untere diesseits der Bildebene, die Mitte, wo der Abstand in beiden Bildern gleich ist, fällt in die Bildebene selbst.

Das linke Linienpaar sei genau parallel und senkrecht, das rechte gleichfalls parallel, aber etwas von der senkrechten Richtung abweichend, und zwar mit den oberen Enden nach links.

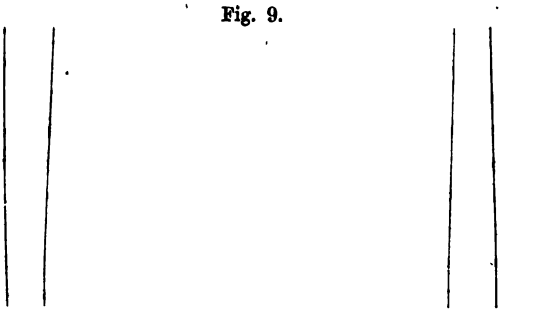
Fig. 8.



Das Sammelbild zeigt beide Linien mit dem obern Ende ein wenig nach links geneigt, ausserdem findet auch eine wenig auffallende Neigung gegen die Bildebene statt, indem die oberen Enden dem Auge näher zu stehen scheinen.

Endlich sollen alle vier Linien etwas aus der senkrechten Richtung verschoben sein und zwar, wie die Figur angiebt, die auf gleicher Seite befindlichen Linien im entgegengesetzten Sinne. In der Mitte haben beide Paare gleiche Weite.

Fig. 9.



Stereoskopisch sieht man zwei Linien, die in parallelen Ebenen zu liegen scheinen und beide im entgegengesetzten Sinne stark gegen die Bildebene geneigt sind, als wenn sie um gleiche Winkel gegen einander gedreht wären. Es ist dies ein sehr frappanter auch dem oberflächlichsten Beobachter sofort ins Auge springender Effect, für den die Erklärung aus den vorigen Beispielen direct hervorgeht. Auf eine noch anschaulichere Erklärung dieser und ähnlicher Versuche komme ich unten zurück.

Aus dieser Versuchsreihe mit nicht vollkommen congruirenden Linienpaaren, die zur stereoskopischen Vereinigung gebracht werden, lassen

sich nun einige Schlüsse ziehen, die ich hier nur als vorläufige hinstelle, da sie später einer nähern Untersuchung unterzogen werden sollen.

Die Theile der beiden Augen zur Verschmelzung dargebotenen Bilder, welche congruent sind und in Bezug auf die Medianebene gleiche Lage haben, liegen im Sammelbilde in einer der Angesichtsfläche parallelen Ebene, welche bei einfachen Figuren mit der Ebene des Papiers, auf dem die Bilder gezeichnet sind, zusammenfällt, während diejenigen Theile (Linien, Punkte), welche ungleiche Gestalt und Lage haben, aus dieser Ebene herausgerückt erscheinen. Es ist aus den erwähnten Thatsachen zu entnehmen, dass jedesmal diejenigen Punkte der Combinationsbilder in der Ebene des Papiers gesehen werden, deren Entfernung in den Einzelbildern in horizontaler Richtung, von einem Bilde zum andern gerechnet, eine bestimmte Grösse hat — ich nenne sie die Hauptdistanz — welche auch für die andern Theile des Sammelbildes von Wichtigkeit ist; denn: Ist die Entfernung zweier zusammengehöriger Punkte in horizontaler Richtung geringer, so erscheint er im Sammelbild vor, entgegengesetztenfalls hinter der Ebene des Papiers, und zwar besteht ein regelmässiges Verhältniss zwischen der horizontalen Distanz der Punkte in den Einzelbildern und der Tiefendistanz im Sammelbilde. Je näher die Punkte der Flächenbilder einander, desto näher das stereoskopische Bild dem Auge und vice versa. Aus dieser Regel geht zugleich hervor, und weitere Beobachtungen werden dies bestätigen, dass ein Punktpaar, dessen Abstand in einem Einzelbilde eben so gross ist wie im andern Einzelbilde, jedesmal im stereoskopischen Bilde in gleicher Entfernung vom Auge, in einer der Angesichtsfläche parallelen Ebene gesehen werden. Uebrigens bemerke ich, dass diese Ausdrucksweise keine ganz strenge und correcte ist; die Ausführung dieses Punktes soll später erfolgen, man möge mir hier indessen eine Anticipation gestatten. Jene gleichen Entfernungen, in denen congruente Bilder gesehen werden, nenne ich die Horopter; die Hauptentfernung, welche der seitlichen Hauptdistanz der Bilder entspricht, nenne ich den Haupthoropter. Die Bedeutung dessen, was ich vorläufig Horopter nenne, liegt also darin, dass danach die Entfernung, die Dimension der Tiefe bestimmt wird. Der Haupthoropter bezeichnet diejenige Entfernung, welche durch die Einstellung der Augen bestimmt wird und auf die wir uns bei stereoskopischen Erscheinungen vorzugsweise beziehen, wenn wir von vorn und hinten sprechen.

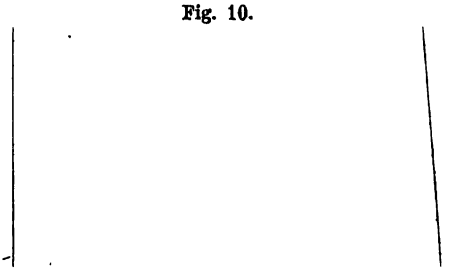
Aus guten Gründen bin ich bei den bisherigen Versuchen nicht von der einfachsten Combination, von einer einzigen Linie jederseits ausgegangen, sondern habe eine zweite Linie zu Hülfe genommen, um die nicht immer sofort ins Auge fallende Tiefenwahrnehmung zu erleichtern. Nicht Jeder nimmt die Tiefenunterschiede sofort deutlich wahr und gewiss nicht Jeder ist fähig die feinsten Differenzen zu erkennen oder gar

zu schätzen. Aufmerksamkeit und Uebung vermögen jedoch sehr viel. Auch bei der Betrachtung körperlicher Objecte sind ja eine gewisse Uebung, Augenmass, Kenntniss der Erscheinungen der Perspective erforderlich, um mit einem Blicke zu einem richtigen Urtheil über die Tiefendimension zu gelangen. Zwar gelingt die Vereinigung der differenten Bilder bei den Meisten sofort, aber anfangs, bei ungenauer oberflächlicher Untersuchung ist das Urtheil über die räumliche Lage sehr ungenau, bei den einfachen zusammenhangslosen Figuren markirt sich der Tiefenunterschied wenig oder wird ganz übersehen und macht sich zuweilen erst bei längerer aufmerksamer Beobachtung allmählich geltend. Je mehr man sich ins Anschauen vertieft, um so mehr scheint sich der angeschaute Raum zu vertiefen. Zuletzt gewinnt man dann eine sehr vollkommne und genaue Schätzung der Tiefe und Entfernung. — Es empfiehlt sich, wie gesagt, bei der Untersuchung des Combinationsbildes zweier ungleicher Figuren, zwei gleiche hinzuzugesellen, weil letztere den obigen Beobachtungen zufolge sich in der Ebene des Papiers decken und daher jede Abweichung von der Ebene danach sicher erkannt wird. Es wird sich noch wiederholt Gelegenheit bieten diesen Kunstgriff mit Vortheil zu benutzen. Der Grund, weshalb wir über die Lage des Verschmelzungsbildes zweier ungleichen Figuren unvollkommen orientirt sind, liegt, wie die weiteren Versuche zeigen werden, hauptsächlich darin, dass wir über die Lage der Bildebene kein richtiges Urtheil haben, da diese als gleichmässige Fläche keinen Anhaltspunkt zur genauen Localisirung giebt.

Es scheint mir nicht überflüssig noch einige Worte über das Verschmelzungsresultat von je einer Linie in jedem Bilde hinzuzufügen, da diese Aufgabe sich in allen complicirten stereoskopischen Erscheinungen wiederholt.

Links sei eine senkrechte, rechts eine schiefe, mit dem obern Ende ein wenig nach links geneigte Linie gezeichnet.

Fig. 10.



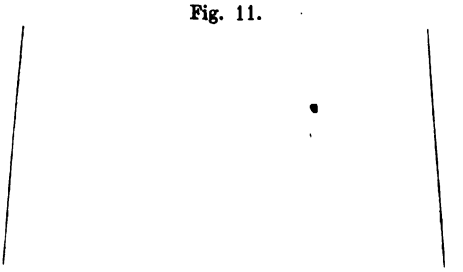
Die Combinationslinie scheint seitlich von der Medianebene äusserst wenig abzuweichen, dagegen ist sie gegen die Bildebene geneigt, das obere Ende ist das vordere. Es fällt sofort auf, dass der Neigungswinkel der Linie gegen die Bildebene viel grösser ist als die seitliche Neigung der Linie des rechten Auges. Welcher Punkt der Combinationslinie in der Ebene des Papiers liegt, ist, da es an jedem Anhaltspunkte

zur genauen Beurtheilung der Entfernung dieser Ebene fehlt, kaum festzustellen. Die Hinzufügung gemeinsamer Verticallinien zu jedem Bilde macht dies möglich. Schärferes Aufmerken lehrt ferner, dass eine bestimmte Lage des stereoskopischen Bildes im Raum bei diesem Beispiele nicht gegeben ist, dass es von dem Belieben abhängig ist, die Verschmelzungslinie ein wenig weiter oder näher zu verlegen, wobei sich die Neigung der Linie kaum merklich ändert. Der Grund hiervon liegt in Folgendem: Die Entfernung, in welche wir nun das stereoskopische Bild eines Punktes verlegt, ist als abhängig erkannt worden von der Convergenz der Sehaxen, die, wenn nicht wirklich vorhanden, unter dem Einfluss der einander ähnlichen, verschmelzenden Bilder und der bekannten Grösse der Bilder vorgestellt wird. Besteht einmal ein bestimmtes Stellungsbewusstsein und wird demgemäss ein Punkt des stereoskopischen Bildes in eine bestimmte Entfernung verlegt, so ist die Entfernung der andern Punkte des Bildes nicht mehr willkürlich, sondern, wie ich auseinander zu setzen versucht habe, allgemein geltenden Gesetzen unterworfen. Um der Lage des Bildes im Raum Constanz zu geben, ist nothwendig, dass gewisse Punktgruppen in beiden Bildern im Stande sind, die Augen in einer Stellung zu fesseln. Wir haben gesehen, dass congruente Figuren von gleicher Lage diese Eigenschaft haben und dass ihr Abstand in den Einzelbildern (die Hauptdistanz) die Tiefendimension (den Haupthoropter) bestimmt, in welche das Bild projicirt wird. Im vorliegenden Beispiele fehlt eine solche massgebende Hauptdistanz, daher auch der Haupthoropter unbestimmt bleibt und die Fixation unsicher hin- und herschwankt, bald der geringern bald der grösseren Entfernung der Punkte der Einzelbilder sich accommodirend.

Die Erklärung des stereoskopischen Effects in dem in Rede stehenden Falle liesse sich nach obigem Schema geben, wenn man zu jedem Bilde eine senkrechte Hülfslinie zöge und nun nach dem seitlichen Abstande der Bildpunkte von diesen Hülfslinien die Tiefendimension berechnete. Einfacher jedoch ist folgende übrigens auf demselben Princip beruhende Methode: Man denke sich die Bilder nach der Mittellinie zu bis zur Berührung eines Punktes, etwa des obersten genähert (Fig. 12, Taf. II. *ab* und *ac*); denke sich dann durch die Kreuzungspunkte der Projectionslinien jedes Auges und das ihm zugehörende Bild auf dem Papier eine Ebene gelegt, so werden sich diese beiden Ebenen in einer gerade Linie (*ad*) schneiden, welche sowohl gegen die Medianebene als auch gegen die Bildebene geneigt ist. Diese Linie enthält offenbar alle Schnittpunkte der Projectionslinien je zweier in gleicher Höhe befindlichen Punkte beider Bilder, mit andern Worten: sie kann als das Verschmelzungsbild beider betrachtet werden. Die Lage dieser Linie lässt sich nun leicht berechnen, wie dies beispielsweise für den nächstfolgenden Versuch ausgeführt werden soll.

Jedem Auge werde eine von der senkrechten Richtung nur um ein Geringes abweichende Linie geboten. Die Abweichung soll nach der entgegengesetzten Richtung stattfinden, etwa beide obern Enden gegen einander gekehrt sein.

Fig. 11.



Das Verschmelzungsresultat ist Folgendes: Eine in der Medianebene befindliche gerade Linie scheint uns mit ihren oberen näher zu stehen als mit den untern, doch wird der Neigungswinkel gegen die Bildebene bei weitem nicht mit der Sicherheit erkannt, wie in dem ähnlichen Versuch pag. 34, Fig. 7.

Behufs Berechnung der Lage des Combinationsbildes denke man sich wieder die Bilder nach der Mittellinie einander genähert, bis sie sich in einem Punkt berühren (Fig. 13, Taf. II. ab und ac). Zwei Ebenen, welche durch die Linien ab und ac und die Kreuzungspunkte der Visirlinien des entsprechenden Auges gelegt werden, schneiden sich in der Linie ad, von der es wohl nicht des Beweises bedarf, dass sie in der Medianebene liegen muss. Es soll der Winkel bestimmt werden, unter dem die Linie ad gegen die Bildebene geneigt ist, also der Winkel $dae = \varphi$.

Gegeben ist der Neigungswinkel der beiden Bilder gegen die senkrechte Richtung $\angle\ bae = \angle\ cae = \alpha$, die Länge der Bilder $ab = ac = l$. Es werde ferner der Abstand der Bildebene von der Grundlinie mit e, die Länge der Grundlinie mit g bezeichnet.

Es ist $be = l.\ Sin.\ \alpha$ und $ae = l.\ Cos.\ \alpha$.

In der Fig. 14, Taf. II. sei LR die Grundlinie, bc der Durchschnitt der Bildebene in den Fusspunkten der Linie ab und ac, und die Ebene dieser Figur soll der Einfachheit halber als auf der Bildebene abc (Fig. 13) senkrecht stehend angenommen werden. — Die Linie bf (Fig. 14) werde parallel eh gezogen, dann ist $bf = e$ und

$$Lf = {}^1/_2 g - l.\ Sin.\ \alpha$$

$$tang.\ Lbf = tang.\ bde = \frac{Lf}{bf} = \frac{{}^1/_2 g - l.\ Sin.\ \alpha}{e}.$$

Ferner ist $de = \dfrac{be}{tang.\ bde} = \dfrac{e.\ l.\ Sin.\ \alpha.}{{}^1/_2 g - l.\ Sin.\ \alpha}$

und $Cotg.\ \varphi = \dfrac{ae}{de} = \dfrac{{}^1/_2 g\ Cotg.\ \alpha - l.\ Cos\ \alpha.}{e}$

Das folgende Täfelchen enthält einige nach dieser Formel berechnete Beispiele. g ist $= 2^1/_2$ Zoll, $l = 1^1/_2$ Zoll, $e = 6$ Zoll angenommen. Die erste Columne enthält den Winkel α, de zweite den berechneten Winkel φ.

$\angle\ \alpha$	$\angle\ \varphi$
1^0	$4^0\ 53'$
$1^1/_2{}^0$	$7^0\ 23'$
2^0	$9^0\ 55'$
$2^1/_2{}^0$	$12^0\ 28'$
3^0	$15^0\ 2'$

Die zuletzt erwähnten Versuche bieten einen weitern directen Beleg für die Regel, dass ein Punkt im stereoskopischen Bilde um so ferner erscheint, je grösser der horizontale Abstand der beiden componirenden Punkte in der Bildfläche ist. Ich brauche daher den folgenden beiden Experimenten keine Erklärung beizugeben, da dieselbe unmittelbar aus dieser Regel folgt.

Dem linken Auge werde eine senkrechte gerade Linie geboten, dem rechten ein flacher Kreisbogen, dessen Sehne jener Linie parallel gerichtet ist.

Fig. 12.

Man sieht stereoskopisch einen noch flacheren Kreisbogen, dessen Concavität nach vorn und etwas nach links gerichtet ist.

Beiderseits befinden sich flache, gleiche Kreisbögen, deren Concavität gegen einander gerichtet ist.

Fig. 13.

Das Sammelbild zeigt einen Bogen von stärkerer Krümmung als die Componenten haben, es summiren sich die seitlichen Krümmungen in Bezug auf die Krümmung nach der Tiefe. Der Bogen liegt ganz in der Medianebene und kehrt die Concavität gerade nach vorne. Haben die Kreisbögen die umgekehrte Stellung, so dass sie die Convexitäten einander zukehren, so sieht man im Sammelbilde einen in der Medianebene gelegenen, stark gekrümmten Bogen, der seine Convexität dem Beobachter zukehrt.

Volkmann*) macht zu dem Versuche der Fig. 13 die richtige Bemerkung, dass leicht ein Zerfallen des Sammelbildes in die Componenten eintrete, so dass die Figur () entsteht, wenn die Endpunkte der Bögen fixirt werden. Ich finde auch, dass beim Fixiren der Mitte der Bögen ein Zerfallen eintritt, dann aber bilden sie die Figur)(, ein x mit gekrümmten Schenkeln. Dies geschieht besonders, wenn die Krümmung der Bögen so stark ist, wie in Volkmann's Figur 19. Den Grund hiervon in psychischen Vorgängen zu suchen, kann ich nicht für nothwendig halten. Bilder dieser Art bieten überhaupt, wenn die Bögen nicht sehr flach sind, der Verschmelzung Schwierigkeiten und haben daher Neigung zum Auseinanderfallen. Diese äussert sich sobald die Verhältnisse der Beobachtung nicht die günstigsten sind. Dass krumme Linien leicht theilweise verschmelzen, was bei geraden viel seltner ist, wird später durch weitere Beispiele erhärtet werden.

Es bedarf kaum näherer Auseinandersetzung, dass nach den Regeln der Perspective in obigen Fällen die Verschmelzungsbögen nicht Kreisbögen sind, sondern Theile von Ellipsen.

Der Grundversuch, auf den sich alles auf der Combination flächenhafter Bilder beruhende stereoskopische Sehen reducirt, enthielt den allgemeinsten Fall, dass zwei in einer horizontalen Linie gelegene Punkte von ungleicher Distanz beiden Augen dargeboten den Eindruck machen, als befänden sich im Raume zwei Punkte in verschiedener Tiefe, in ungleicher Entfernung von der Angesichtsfläche. Auf das gewöhnliche Wahrnehmen körperlicher Objecte lässt sich dieser Versuch und die aus ihm abgeleiteten leicht anwenden. Um eine vollständige Analogie zu haben, denke man sich auf einer der Angesichtsfläche parallelen Bildebene die angeschauten Objecte in perspectivischen Ansichten vom Standpunkte jedes Auges aus verzeichnet. Es ist klar, dass die körperliche Wahrnehmung, die räumliche Construction des Objects, nach denselben Gesetzen erfolgt, wie bei den stereoskopischen Versu-

*) l. c. pag. 89.

chen, die wir seither betrachteten. Die Projectionslinien werden so weit in den Raum verlängert, bis sie sich treffen, der Schnittpunkt ist der Ort des gesehenen, zwei Bilder liefernden Punktes. Der einzige Unterschied besteht darin, dass bei den stereoskopischen Versuchen die Projection nicht in die Ferne erfolgt, sondern aus den namhaft gemachten Gründen das Object in die Region der Bildebene verlegt wird. Im Uebrigen ist die Analogie vollständig und die Regeln die für das Eine gelten, gelten auch für das Andere. — Wenn man durch einen von beiden Augen angeschauten Körper eine die Grundlinie enthaltende Ebene legt, werden je zwei Punkte des Körperdurchschnitts im Allgemeinen beiden Augen unter verschiedenen Gesichtswinkeln erscheinen, unter gleichen nur dann, wenn sie einem Horopterkreise angehören (cf. Capitel 1). Auf alle beliebigen, solchen Durchschnitten angehörigen Punkte kann der stereoskopische Fundamentalversuch angewandt werden, und da solcher Durchschnitte unzählige angenommen werden können, so dass jeder Punkt des Körpers in einem derselben vorkommt, so sind in dem einen Versuche principiell alle Möglichkeiten für die Combination zweier Bilder erschöpft. Jede der gedachten Ebenen würde eine der Angesichtsfläche parallele Bildebene in einer der Grundlinie parallelen Linie schneiden, und jeder Punkt des Körpers muss nothwendig seine auf diese Ebene projicirten Bilder in einer horizontalen Linie haben. Bei unsern Untersuchungen scheint es mithin zu genügen, in der der Angesichtsfläche parallelen Bildebene lediglich die horizontalen Distanzen der Bilder jedes Auges zu berücksichtigen. Die Projectionslinien von Punkten, welche nicht in einer Horizontallinie liegen, können sich offenbar im Raume niemals treffen, weil sie nicht in einer Ebene liegen.

Aus diesen theoretischen Gründen schien eine experimentelle Untersuchung über die Möglichkeit der stereoskopischen Verschmelzung von Punkten, die nicht in einer horizontalen Linie der Bildfläche liegen, unnöthig; sie durfte nur ein negatives Resultat erwarten lassen.

Die von andern Gesichtspunkten aus angestellte Untersuchung ergab nun doch die Möglichkeit der Vereinigung bis zu einem gewissen, freilich sehr beschränkten Grade und der Sachverhalt erfordert daher eine etwas genauere Analyse.

Zuvörderst muss bemerkt werden, dass, wenn auch die Vereinigung von Punkten und Linien, die nicht in ganz gleicher Höhe liegen, unter gewissen Bedingungen gelingt, doch niemals ein charakteristischer stereoskopischer Effect damit verbunden ist. Da es sich bei den folgenden Versuchen um Horizontallinien handelt, welche in verschiedener Höhe liegen, so dürfte es nicht überflüssig sein, des Resultates der Vereinigung von Horizontallinien zu gedenken, die sich in genau gleicher Höhe befinden, von denen also eine in die Verlängerung der andern fällt. In der Regel ist auch hier, ausser der grösseren Schwärze der combinirten

Linie, kein besonderes Resultat zu beobachten, weder werden Unterschiede in der Tiefe wahrgenommen, noch ist überhaupt die räumliche Wahrnehmung so präcise wie bei andern stereoskopischen Versuchen. Der Grund ist leicht einzusehen. Da die zusammengehörigen Punkte der Horizontallinie nicht durch besondere Eigenthümlichkeiten markirt sind, so ist es gleichgültig, ob bei der stereoskopischen Deckung ein Punkt der einen Linie mit diesem oder jenem Punkte der andern Linie zusammenfällt. Giebt man nicht auf die Endpunkte besonders Acht und sind nicht gewisse Punkte in der Linie durch besondere Merkmale ausgezeichnet, so hat man keinen Anhaltspunkt für eine dauernde Fixation; die Linien können sich in horizontaler Richtung über einander schieben, ohne dass die Deckung leidet. Demzufolge ist das Urtheil über die Entfernung der horizontalen Combinationslinie sehr ungenau und jedes Wechsels fähig. Bei complicirteren Figuren accommodiren wir das Urtheil und den Abstand der horizontalen Linie dem Urtheil über den Abstand der übrigen Linien und der Zweckmässigkeit der ganzen Figur, wir verlegen die Punkte der horizontalen Linie nöthigenfalls auch in verschiedene Entfernungen, wenn das zu den andern Theilen des stereoskopischen Bildes zu passen scheint. Verbindet man z. B. ungleich weite verticale Linienpaare, von denen man je eins beiden Augen gegenüberstellt, mit Horizontallinien, so sieht man die Horizontallinien

Fig. 14.

schräg im Raum verlaufen, als wenn sie die vordere senkrechte Combinationslinie mit der hintern verbinde. Da die letzteren nothwendig in verschiedenen Tiefen wahrgenommen werden müssen, so scheinen auch die Horizontallinien eine entsprechende Lage einzunehmen. — Wie wenig es sich aber in diesem Falle um wirkliche Wahrnehmung handelt, wie vielmehr um eine ergänzende Vorstellung, ersieht man daraus, dass ein gleicher Effect statt findet, wenn die horizontale Verbindungslinie nur einem von beiden Bildern angehört. Vereinigt man dagegen dieselben horizontalen von ungleicher Länge ohne die verticalen Linien, so fällt der

Fig. 15.

Tiefenunterschied fort und man sieht nur beide Linien sich ganz oder theilweise decken. Eine solche Unbestimmtheit und Indifferenz in der

räumlichen Wahrnehmung wird nur bei horizontalen Linien beobachtet, in allen andern Fällen ist der Ort des Bildes durch die seitlichen Differenzen des Bildes völlig bestimmt. Freilich scheint auch bei Linien, deren Richtung sich der horizontalen stark nähert, die Tiefenwahrnehmung keine so scharfe zu sein, wie bei solchen, die sich der senkrechten Richtung nähern.

Dies stimmt ganz mit der Erfahrung überein, dass wir auch an den uns umgebenden Objecten über die Entfernung der horizontalen Linie bei Weitem nicht mit der Sicherheit und Richtigkeit urtheilen, wie über anders gerichtete Linien. H. Meyer*) hat einen Versuch ersonnen, der dies sehr klar macht und den ich hier beiläufig erwähne, da er noch keine ganz ausreichende Erklärung gefunden hat. In einem Rahmen spannt man eine Anzahl parallele Fäden aus, die nicht in einer Reihe neben einander, sondern in einer Zickzacklinie so angeordnet sind, dass, wenn man den Rahmen vor sich hin hält, die Fäden sich in merklich ungleicher Entfernung vom Auge befinden. Verdeckt man nun die Befestigungspunkte der Fäden, so dass man bloss das System der Fäden erblickt, so wird man finden, dass, wenn diese horizontal gehalten werden, alle über einander in einer senkrechten Ebene zu liegen scheinen. Wird dagegen der Rahmen so gehalten, das die Fäden senkrecht stehen, so wird ihre verschiedene Entfernung auf den ersten Blick deutlich erkannt.

Dies Resultat ist verständlich, wenn man bedenkt, dass der Ort einer senkrechten (oder schrägen) Linie, aus den Netzhautbildern durch zwei sich schneidende, die Projectionslinien enthaltende Ebenen gegeben ist. Ueber die Lage jedes einzelnen Punktes der Linie sind wir mithin genau unterrichtet. Bei horizontalen Linien indessen fallen die beiden, die Projectionslinien enthaltenden Ebenen, in eine zusammen und erstere können daher in verschiedene Enfernungen verlegt werden. Erst dann ist der Ort der Linie bestimmt, wenn die Zusammengehörigkeit der Bildpunkte richtig erkannt wird, wenn also in jeder Horizontallinie ein Punkt auf irgend eine Weise markirt ist, etwa durch Berührung mit einer Verticalen u. dgl., dann wird der Punkt in die richtige Entfernung verlegt und mit ihm die ganze übrige Linie. Dies geschieht, wenn z. B. in dem Meyer'schen Versuch die Befestigungspunkte der Fäden sichtbar sind oder wenn jeder Faden einen Knoten enthält. Begreiflicherweise ist aber auch hier die Wahrnehmung der Entfernung keine so präcise, wie bei senkrechten Linien, wo für jeden Punkt das gegeben ist, war hier nur für einen.

Auf ähnlichen Gründen beruht wohl zum Theil der wunderbare Effect, den man erhält, wenn man bei Betrachtung einer nicht zu fernen

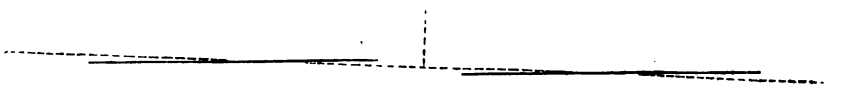
*) Archiv. f. Ophth. II. 2. pag. 92.

Landschaftparthie den Kopf seitlich nach einer Schulter neigt, so dass die Medianebene in den Horizont fällt. Neben einer ungewohnten Farbenwirkung sieht Alles viel distincter und körperlicher aus. Die Linien der Landschaft, welche vorher der Grundlinie parallel waren, sind nun gegen dieselbe senkrecht gerichtet und ihre Entfernung kommt daher schärfer zur Perception. Ueber die Entfernung der wirklich senkrechten Linie ist man theils aus alter Gewohnheit, theils aus dem unmittelbar vorher bei aufrechter Kopfstellung gewonnenen Eindruck unterrichtet und aus beiden bildet sich ein ungemein zierliches körperliches Bild, das sich durch lebhafte Farben und scharfe Contraste auszeichnet. Namentlich bei scharf contourirten Objecten, z. B. Gebäuden in nicht zu grosser Ferne ist der Effect sehr auffällig.

Ich kehre zu den stereoskopischen Versuchen zurück. Wird jedem Auge eine horizontale Linie geboten, beide aber in nicht genau gleicher Höhe, so gelingt die Vereinigung oft, ebenso oft aber misslingt sie auch. Es wird darauf ankommen, die Bedingungen der verschiedenen Resultate aufzuklären. Bei aller Aufmerksamkeit kann man, wenn die Verschmelzung stattfindet, einen Effect, der sich von dem monocularen Eindruck unterschiede, nicht wahrnehmen. Die horizontale Combinationslinie scheint in der Ebene des Papiers zu liegen.

Weiter fand ich nun, dass nur bei sehr geringen Höhenunterschieden die Vereinigung möglich ist, die jenen für horizontale Distanzen auch nicht annähernd gleich kommen. — Bei Versuchen dieser Art stellt sich heraus, dass gewisse Kopfbewegungen die Vereinigung auffallend erleichtern und zwar solche, wo der Kopf um seine von vorne nach hinten gehende Axe ein wenig geneigt wird nach der Seite, die der tiefer liegenden Linie entspricht. Die Wirkung einer solchen Kopfbewegung liegt auf der Hand. Es wird dadurch die Medianebene des Kopfes den Bildern anders gegenüber gestellt, so nämlich, dass die beiden Linien zu ihr eine gleiche Lage erhalten, dass sie also nicht mehr der Grundlinie parallel sind, nicht mehr horizontal genannt werden können. Man erreicht natürlich dasselbe, wenn man das Papier, auf dem die Bilder verzeichnet sind, in umgekehrter Richtung ein wenig rückt. Durch beide Manöver gelangen die ursprünglich horizontalen Linien in eine solche Richtung, dass sie von der Linie, welche nun der Grundlinie parallel ist, in gleichen Punkten gleich weit abstehen, dass sie mit ihr gleiche Winkel bilden. Diese der Grundlinie nun parallel gewordene Linie ist in der Figur 16 punktirt.

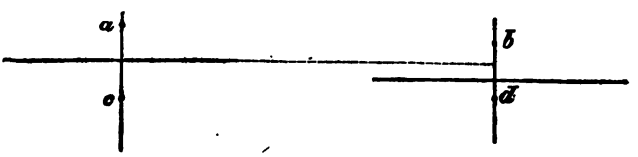
Fig. 16.



Da jetzt die Höhenunterschiede in beiden Bildern beseitigt sind, so geht die Vereinigung ohne Mühe von statten und unter diesen Umständen werden auch grössere Höhenabstände der Bilder unschädlich gemacht. Zur Entscheidung der Frage, ob Bilder von ungleicher Höhe der Verschmelzung fähig sind, kann also ein solcher Versuch nicht dienen, es müssen vielmehr die bezeichneten Kopfbewegungen strengstens vermieden werden. Es ist wichtig, diese Fehlerquelle zu kennen und ich kann nicht umhin zu vermuthen, dass bei anderen Beobachtern Irrthümer aus ihr geflossen sind.

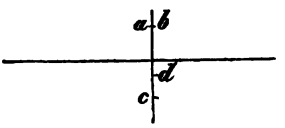
Trägt man nun Sorge, dass bei dem Versuche der Kopf in der verlangten Stellung fest stehen bleibe und der Parallelismus der Linie mit der Grundlinie keine Störung erleide, so zeigt sich, dass die Höhenunterschiede, welche sich überwinden lassen, anfangs sehr unbedeutend sind, erst nach einiger Uebung tritt eine Vermehrung desselben ein. Um nun über die Natur des Vorganges ins Klare zu kommen, machte ich folgenden Versuch: Jeder der in ungleicher Höhe befindlichen Linien wird in der Mitte eine senkrechte beigegeben, auf welcher nach oben gleiche Stücke abgetragen sind (*a* und *b*), gerechnet von den Schnittpunkte der verticalen und der horizontalen; nach unten werden gleichfalls gleiche Stücke abgetragen, aber linkerseits vom Schnittpunkte mit der horizontalen aus (*c*), rechterseits vom Schnittpunkt mit der verlängerten horizontalen des linken Auges (*d*). Kleine Abzeichen markiren die Endpunkte der abgetragenen Stücke.

Fig. 17.



Geschieht nun die stereoskopische Vereinigung der Horizontallinie, so fallen die Punkte *a* und *b* zusammen, *c* und *d* dagegen nicht; diese liegen vielmehr, wie es ihrer Entfernung von den beiderseitigen horizontalen entspricht, über einander. (Fig. 18.)

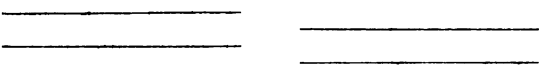
Fig. 18.



Daraus geht hervor, dass mit der Horizontalen auch die Verticale ihre Stelle auf einer Seite verlassen hat. Mit der linken Horizontalen sind auch die Punkte *a* und *c* herabgerückt; das ganze Gesichtsfeld des

linken Auges hat sich relativ zu dem des rechten etwas nach unten verschoben. — Hat man für jedes Auge zwei parallele horizontale Linienpaare von gleicher Weite, die aber in der Lage eine kleine Höhendifferenz haben, so ist der Erfolg der gleiche. Das Gesichtsfeld des einen

Fig. 19.



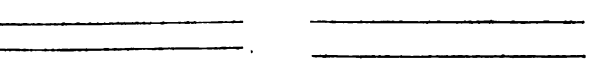
Auges wird ein wenig herab- oder hinaufgeschoben, so dass die Deckung erfolgt, wie man sich durch kleine, an jeder Linie angebrachte Häkchen überzeugen kann, die sich allesammt im Sammelbilde wieder finden. In der Tiefenwahrnehmung erfolgt auch hier keine Aenderung. Zwischen diesem Verschmelzungsacte und demjenigen, den wir bei den früheren Versuchen kennen gelernt haben, besteht offenbar sehr wenig Analogie. Dort Verlegung des Bildes in die Schnittpunkte der Visirlinien und demgemäss charakteristische Tiefenwahrnehmung, hier Unmöglichkeit einer Schneidung der Visirlinien, dagegen Verschiebung eines ganzen Gesichtsfeldes gegen das andere oder beider gegen einander, keine Spur einer Aenderung in der Entfernung der Punkte des Sammelbildes. Dort unwillkürliche, nothwendige, sofortige Verschmelzung zu einem constanten Bilde, hier mühsames, für Manche unmögliches Vereinigen, leichtes Auseinandertreten und zuweilen mit einem unangenehmen Gefühle verbunden Dort eine in einer geometrischen Construction bestehende Thätigkeit des Verstandes, hier ein, wie es scheint, rein muskulärer Act.

Weitere Bestätigung gewann ich auf folgendem Wege. Ich suchte zwei in gleicher Höhe befindliche Horizontallinien (von denen also eine in der Verlängerung der anderen lag) stereoskopisch zu vereinigen, indem ich vor ein Auge ein schwaches Prisma mit der Basis nach oben oder unten hielt. Die Linien erschienen anfangs gemäss der ablenkenden Wirkung des Prismas in verschiedener Höhe; nach längerem Hinschauen jedoch geschah die Verschmelzung, freilich nur bei Benutzung sehr schwacher Prismen. In der Entfernung von 8 Zoll bei einem Prisma von 1^0 gelang die Vereinigung meist sofort, bei 2^0 auch noch ohne grosse Schwierigkeit, bei 3^0 jedoch nur mit grosser Mühe und Anstrengung und unter Zurücklassung eines sehr unangenehmen Gefühls in den Augen. Der Modus der Verschmelzung ist hier übrigens charakteristisch. Man sieht bei Anwendung eines 2—3grädigen Prismas die Linien langsam in einander übergehen, sich auch langsam trennen; im Gegensatz zu der plötzlichen Aenderung der Projection beim Verschmelzen oder Auseinanderfallen von Bildern, deren seitliche Distanz so bedeutend ist, dass die Combination nicht mehr mit Bequemlichkeit von statten geht (cf. pag. 30). Auch dies spricht unzweifelhaft dafür, dass eine Muskelaction hier obwaltet, eine Störung des Muskelgefühls, ganz ähnlich derjenigen, die bei dem ersten Versuche des Capitels beobachtet

und besprochen worden ist. Den Associationsgesetzen entgegen contrahiren sich die nach oben (oder unten) wirkenden Muskeln in ungleichem Grade, so dass jede Stelle des directen Sehens auf einen Punkt der horizontalen Linie eingestellt ist. Der Drang aber, die einander ähnlichen Contouren zu einem Bilde zu verschmelzen, der die unharmonische Wirkung der Zugkräfte veranlasste, macht auch, dass die geschehene Veränderung der Augenrichtung nicht richtig vorgestellt wird, dass vielmehr die Bewegung als Scheinbewegung dem Bilde zugeschrieben wird und die Augen als in normaler associirter Stellung befindlich gedacht werden, und danach richtet sich dann die Projection des Netzhautbildes.

Es lag nahe den folgenden Controllversuch anzustellen. Zwei horizontale parallele Linienpaare von ungleicher Distanz sollen stereoskopisch vereinigt werden. Die oberen Horizontalen sollen eine in der Verlängerung der andern liegen; die beiden unteren also in ungleicher Höhe.

Fig. 20.



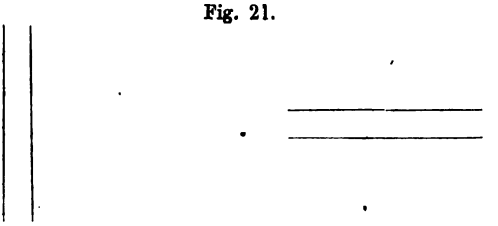
Nach den bisherigen Beobachtungen musste erwartet werden, dass die oberen Horizontalen verschmelzen, die beiden untern aber im Sammelbilde gesondert erscheinen würden, eine Verschmelzung beider Horizontallinien könnte selbst durch eine Verschiebung des Gesichtsfeldes nicht erzielt werden. In der That war das auch, sobald der Höhenunterschied der untern Horizontalen nicht sehr gering war, stets der Fall. Betrug jedoch dieser Unterschied weniger als 1 mm. (für die mittlere Sehweite), so geschah auffallender Weise dennoch die Vereinigung beider Linienpaare, ja ich konnte durch kleine Abzeichen der Linien mich überzeugen, dass wirkliche Verschmelzung der beiden obern, wie der beiden untern Linien stattgefunden hatte. Die untere Verschmelzungslinie stand von der obern bald um die Distanz des engern, bald um die des weitern, bald um eine mittlere Distanz ab.

Es ist nicht zu läugnen, dass dieses Resultat etwas Paradoxes hat und man scheint berechtigt, von einer wirklich abnormen (nicht geradlinigen) Projectionsweise zu reden, von einer Störung derjenigen Thätigkeit, die wir bisher als eine unwandelbar regelmässige kennen gelernt haben. Zum Glück indess lässt sich für dies Paradoxon, das der Theorie andernfalls gefährlich werden könnte, bei genauerer Besichtigung eine Erklärung finden, die mir ausreichend zu sein scheint. Bei häufiger Wiederholung des Versuchs beobachtet man nämlich, dass die Verschmelzung wenig constant ist, dass häufig die untere Combinationslinie in ihre zwei Componenten zerfällt. Wenn das aber der Fall ist, so sind die letzteren nie rein und deutlich sichtbar, sondern höchst unruhig, ver-

wischt und schattenhaft. Es manifestirt sich also, wie ja auch in zahlreichen andern Experimenten, eine starke Antipathie dagegen, ähnliche Contouren nahe an einander zu sehen, die doch nicht verschmelzen — ein Ereigniss, dass in der Reihe der gewöhnlichen Phänomene des Sehens niemals vorkommt. Geht nun dennoch die Verschmelzung vor sich, so zeigt auch die Verschmelzungslinie eine gleiche Unruhe, die oft auch auf die obere Verschmelzungslinie übergeht. Eine ganz klare Vereinigung in ruhigem Bilde kommt bei scharfer Aufmerksamkeit nie vor; wohl aber werden bald an der oberen bald an der unteren Linie mehr oder weniger deutliche Nebenbilder gesehen. Von Interesse aber ist es insbesondere, dass scharfes Fixiren der unteren Verschmelzungslinie häufig ein Zerfallen der oberen in die Componenten zur Folge hat, nach dem vorhin Erwähnten ein Beweis, dass eine auf muskulärer Action beruhende Verschiebung des Gesichtsfeldes geschehen ist.

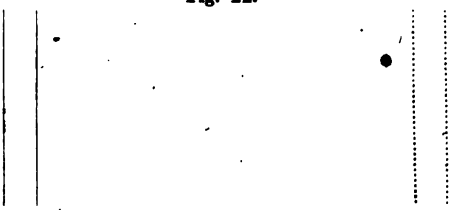
Nach allen diesen Beobachtungen dünkt es mich zweifellos, dass die Verschmelzung im vorliegenden Falle von der Verschmelzung unter den früher beobachteten Verhältnissen essentiell verschieden ist; so verschieden, dass sie vielleicht den Namen Verschmelzung kaum verdient. Es scheint sich vielmehr um eine sinnliche Reactionsweise gegen Eindrücke zu handeln, die den gewöhnlichen Vorkommnissen durchaus fremd sind und auf rationelle Weise unvereinbar scheinen. Daher die oscillirende Thätigkeit der Muskeln, die als Versuche zur vollkommnern Verschmelzung zu betrachten sind, daher das unstete, wechselvolle Wesen des Phänomens, das den andern Categorien der stereoskopischen Erscheinungen ganz abgeht. Dass die Reactionsweise in der That eine sinnliche sei, lehrt die Analogie vieler Fälle von Interferenz der Contouren in den constituirenden Bildern, wo einzelne Parthien der Contouren in ein unruhiges Flimmern gerathen oder total ausgelöscht werden. Ich brauche in dieser Beziehung nur an die schönen und lehrreichen Versuche Panums zu erinnern, von denen ich zwei der einfachsten hierher setze.

Fig. 21.



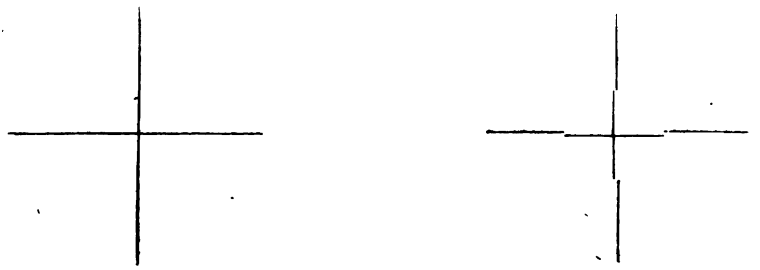
Bei Vereinigung dieser Figuren fehlen in der Mitte des Kreuzes stets Theile der Contouren, bald fehlen die senkrechten, bald die wagerechten, bald alle vier Linien. In folgender Figur werden die schwarzen ausgezogenen Linien von den punktirten Linien im Sammelbilde fast vollständig übertönt.

Fig. 22.



Noch eine Modification dieser Versuche füge ich bei, die in noch näherer Beziehung zu obigem Falle steht; indem eine Contour durch eine ihr dicht benachbarte gänzlich ausgelöscht und zum Verschwinden gebracht wird.

Fig. 23.



Das linke Bild mit seinen ausgezogenen Linien unterliegt hier gänzlich dem rechten und an der Stelle, wo die Linien des linken Kreuzes verlaufen sollten, sieht man die reine weisse Papierfläche.

Ich will an dieser Stelle keine Hypothese zur Erklärung dieser merkwürdigen Erscheinungen aufstellen und begnüge mich die Thatsachen zu constatiren.

Der Schluss, dass es sich bei der Verschmelzung ungleich distanter horizontaler Linienpaare nicht um eine Abweichung von dem durchgehends geltenden Gesetze der geradlinigen Projection handelt, erhält noch eine experimentelle Bestätigung durch weitere Prüfungen der Verschmelzungsfähigkeit vertical distanter Bilder.

Es wurde einerseits eine horizontale, andrerseits eine die horizontale schneidende, um einen sehr kleinen Winkel gegen dieselbe geneigte Gerade stereoskopisch zu vereinigen gesucht.

Fig. 24.

Dies gelingt selbst bei sehr geringem Neigungswinkel nur sehr schwer. Wenn die Linien etwas dick sind, confluiren sie leichter und die Combinationslinie scheint an beiden Enden etwas dicker; feine Linien

hingegen sieht man gewöhnlich sich kreuzen aber nicht verschmelzen. Zu bemerken ist, dass die sich flach kreuzenden Linien viel weniger störend auf einander wirken als solche, die sehr nahe an einander parallel verlaufen. Nach längerer Fortsetzung und öfterer Wiederholung der Beobachtung scheint es, als wenn eine wirkliche Verschmélzung leichter zu Stande käme; es hat mir selbst bei so einfachen Versuchen zuweilen geschienen, als fände eine der früher beschriebenen ähnliche Verschiebung des Sehfeldes durch Muskelwirkung statt, eine Rotation um einen imaginären Mittelpunkt, so dass die von der horizontalen und verticalen Richtung etwas abweichenden Linien genau diese Richtung einnehmen. Es muss hier für beide Bulbi eine unharmonische Wirkung der um die Sehaxe rotirend wirkenden Kräfte angenommen werden, unter denen natürlich die Mm. obliqui in erster Linie stehen. Zur Evidenz erhoben wird die ungleichmässige Contraction der schiefen Augenmuskeln bei complicirteren Bildern, welche eine energischere Neigung zur Verschmelzung und dadurch stärkeren Zwang auf die Augenbewegung ausüben. Am besten eignen sich zu solchen Versuchen identische Drucke, welche man in der Entfernung von 2—2½ Zoll neben einander legt und zur stereoskopischen Verschmelzung bringt. Alsdann drehe man das eine von beiden bedruckten Blättern ganz langsam und allmählich nach links oder rechts um seinen Mittelpunkt, so dass die Zeilen die vorher in der Verlängerung der Zeilen des anderen Blattes lagen, nunmehr schräg gegen dieselben gerichtet sind. Das stereoskopische Bild bleibt eine Zeit lang intact, während ein Gefühl starker Spannung im Auge eintritt. Schliesst man nun die Augen und öffnet sie wieder, so gelingt die Verschmelzung nicht mehr, wohl aber, wenn man wieder die normale Stellung zum Ausgangspunkt nimmt. Der Neigungswinkel der Zeilen in beiden Blättern kann unbeschadet der stereoskopischen Verschmelzung nach beiden Seiten bis auf mehrere Grade gebracht werden, doch sind anhaltende Versuche dieser Art sehr anstrengend, erzeugen Schwindel und Kopfschmerz.

Eben so gut lässt sich dieser Versuch zur Demonstration der isolirten Wirkung der nach oben und unten ziehenden Muskelkräfte benutzen, indem man das eine Blatt während des Beobachtens langsam nach oben oder unten verschiebt. Auch können beide Arten der Bewegung gleichzeitig in Anspruch genommen werden, wenn man eins von beiden Blättern nach oben schiebt und zugleich rotirt. — Diese Versuche liefern den Beweis, wie gross die Gewalt ist, die der Sehact selbst unter unnatürlichen Bedingungen auf die Augenbewegung ausübt.

In zwei gleich grossen Quadraten für jedes Auge befindet sich links ein kleineres Quadrat, rechts ein Rechteck, dessen Breite gleich der des kleinern Quadrats, dessen Höhe aber geringer ist. In beiden Bildern stimmt also bis auf die horizontalen Linien der eingezeichneten Figuren Alles überein; diese horizontalen sind in ihrer Höhe etwa um ½ Mm. unterschieden.

Fig. 25.

Im Sammelbilde erscheinen die horizontalen Linien der kleinern Figuren sehr unvollkommen vereinigt; man sieht keine deutlichen Verschmelzungslinien, wie bei den grossen Quadraten, sondern unruhige, schattenartig vermischte Streifen. Durch den Zwang, den die Begränzungslinien der grossen Figuren auf die Augenstellung ausüben, wird die Verschiebung des einen Sehfeldes nach oben oder unten zu Gunsten der völligen Verschmelzung der in ungleicher Höhe liegenden horizontalen verhindert.

Man biete beiden Augen Quadrate von etwas verschiedener Grösse dar. Die Verticalen verschmelzen vollkommen und rein, während die horizontalen Verschmelzungslinien verwischt und flimmernd erscheinen. Die Ebene der Combinationsfigur hat natürlich eine schräge Richtung.

Ein vielbesprochenes Factum, für welches mir jedoch eine genügende Erklärung bis jetzt nicht gegeben zu sein scheint, ist die stereoskopische Verschmelzung ungleicher Kreise. Brücke's rein theoretischer Erklärungsversuch — Verschiedenheit des Accommodationszustandes beider Augen, demzufolge ungleiche Lage der Knotenpunkte, wodurch die Netzhautbilder ungleicher Kreise gleich gross werden — kann weder theoretischer Prüfung noch genauerer Beobachtung Stand halten. Eine so bedeutende Abänderung in der Grösse des Netzhautbildes, wie sie vorausgesetzt wird, kann, wie leicht nachzuweisen, unmöglich stattfinden, so lange die Schärfe des Bildes nur einigermassen erhalten bleibt; eine grosse Ausbreitung der Zerstreuungskreise würde nothwendig damit verbunden sein. Ohne die von Panum und Volkmann gegen Brücke vorgebrachten Gründe zu reproduciren, füge ich nur hinzu, dass einestheils das Hinausrücken des Kreises im Sammelbilde aus der der Angesichtsfläche parallelen Ebene, anderntheils die Verschmelzung zweier Doppelkreise, von ungleicher Halbmesser-Differenz die Brückesche Erklärung als unzweifelhaft unrichtig erscheinen lässt (cf. weiter unten). Panum und Volkmann helfen sich über die Erklärung der merkwürdigen Thatsache leicht hinweg, Ersterer mit der ganz ungerechtfertigten Aufstellung seiner Identitätskreise; Letzterer*) lässt den Punkt, der in

*) l. c. pag. 45.

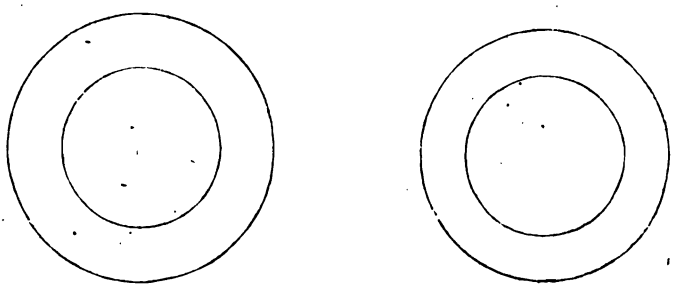
Wirklichkeit und auch für seine Theorie der eigentlich schwierige ist, nämlich die Verschmelzung der obern und untern Theile der Kreise, bei denen Höhenunterschiede obwalten, unerledigt; denn den „Drang nach einfachen Bildern“ wird man nicht als eine Lösung, sondern als eine Umgehung der Schwierigkeit betrachten können.

Eine meines Erachtens vollständig ausreichende Erklärung lässt sich aus dem Früheren ableiten; die genauere Beobachtung wird ergeben, dass die Verschmelzung hier kein so einfacher Vorgang ist, wie er bisher hingestellt wurde. Versucht man zwei Kreise stereoskopisch zu vereinigen, deren Radius nur wenig verschieden ist, so erhält man im Sammelbilde eine kreisähnliche Figur, deren Ebene nicht mit der Ebene des Papiers coincidirt; es erscheint derselbe mit demjenigen Rande vor der Ebene des Papiers, welcher auf Seite des kleineren Kreises liegt. Diese Beobachtung, die ich trotz der gegentheiligen Versicherung Panums*) aufrecht erhalten muss, ist nicht leicht und pflegt nur nach anhaltender Wiederholung deutlich zur Erscheinung zu kommen. Man erleichtert sich die Bestimmung der Tiefe dadurch, dass man zwei congruente Figuren, etwa gleich grosse Quadrate oder Kreise hinzufügt. Bei Vereinigung der Bilder in Fig. 26 sieht man die linke Hälfte des Verschmelzungskreises vor, die rechte Hälfte hinter der Ebene des Quadrats.

Fig. 26.

Noch entschiedener ist die Wahrnehmung in dem folgenden Versuch, wo zwei gleiche Kreise concentrisch in zwei ungleiche eingezeichnet sind.

Fig. 27.



*) l. c. pag. 75.

Beide Kreise scheinen sich im stereoskopischen Bilde zu decken, aber die Ebene des mittleren scheint nach der Seite schräg gerichtet zu sein, mit der linken Kante vorn, mit der rechten hinten; der grössere Kreis dagegen scheint der Ebene des Papiers anzugehören. Unter dem Einfluss der Ueberlegung, dass der kleinere Kreis als Resultat congruenter Constituenten früheren Beobachtungen zufolge in der der Angesichtsfläche parallelen Bildebene liegen müsse, gelingt es denn auch, ihn so wahrzunehmen und den grösseren Combinationskreis im umgekehrten Sinne schief mit der rechten Kante vorn zu sehen. Doch kehrt der andere Eindruck immer wieder zurück, wahrscheinlich weil man unwillkürlich geneigt ist, stets die grössere Figur mit der Bildebene zu identificiren.

Es versteht sich, dass die Schiefstellung der Kreise gegen einander aus den oben abgeleiteten Regeln mit Nothwendigkeit folgt. Wo die Distanz der zur Verschmelzung gelangenden Punkte in den Bildern geringer ist, da liegt der Verschmelzungspunkt der Angesichtsfläche näher und umgekehrt. Die entsprechenden Punkte der linken Hälfte der grossen Kreise liegen einander ferner als die der linken Hälfte der kleinen Kreise, werden also im Sammelbilde ferner, d. h. tiefer gesehen, die rechten Hälften der grösseren Kreise liegen einander näher als die rechten Hälften der kleineren Kreise, daher im Sammelbilde weiter vorn. Dies bezieht sich indessen nur auf die seitlichen Theile der Kreise, auf die in gleicher Höhe, d. h. in einer Horizontalen gelegenen Punkte. Bei den oberen und unteren Theilen findet ein wirklicher Höhenunterschied statt, welcher eine wirkliche perspectivische Verschmelzung unmöglich macht. Nur ein unvollkommenes nebliges Ineinanderfliessen dieser Parthien dürfte nach Analogie von früheren Versuchen zu erwarten sein. Wirklich verhält es sich auch so. Die oberen und unteren Bögen des Sammelbildes zeigen bei nur einigermassen erheblicher Differenz in den Radien der zu vereinigenden Kreise verwischte und unruhige Bilder, die gegen die reine Combination der seitlichen Theile der Peripherie deutlich genug contrastiren. Fixirt man den untersten Punkt des Sammelbildes scharf, so verliert sich die Unruhe und Verwischtheit der Contour auch an dieser Stelle, indem das eine Gesichtsfeld muskulär herabgeschoben wird. Um so mehr sieht man dann die oberen Contouren differiren, was man sowohl durch das exentrische Sehen erkennt, wenn die Kreise nicht zu gross sind, als auch wenn man plötzlich den oberen Rand fixirt, in welchem Falle man die Contouren völlig gespalten findet und erst nach einigem Verweilen durch abermalige muskuläre Dislocation des Sehfeldes in entgegengesetzter Richtung sich vereinigen sieht. Will man sich nebenher von der Unvollkommenheit der Verschmelzung der oberen und unteren Peripherie der ungleichen Kreise durch einen Vergleich überzeugen, so verwandle man den grösseren Kreis in eine Ellipse, deren grössere

horizontale Axe dem Durchmesser des grösseren Kreises gleich ist, und dessen kleinere verticale Axe mit dem Durchmesser des kleineren Kreises übereinstimmt, mit andern Worten, man flache den grösseren Kreis oben und unten dergestalt ab, dass die Figur gleiche Höhe mit dem kleinen Kreise des andern Auges erhält. Nun ist die Verschmelzung auch der obern und untern Bögen eine tadellose und die Schiefstellung sehr hervortretend.

Wenn übrigens der Unterschied in der Grösse der Kreise etwas bedeutender ist, so verschmelzen die oberen und unteren Bögen gar nicht mehr, sondern bleiben im Sammelbilde getrennt, was denn auch leicht die Vereinigung der seitlichen Bogen aufhebt, so dass man zwei verschieden grosse Kreise in einander sieht. Die Neigung zur Vereinigung ähnlicher dominirender Contouren zeigt ihren Einfluss auf die Augenstellung dann noch darin, dass der grosse Kreis eine Art Attraction auf den kleinen ausübt, so dass die Peripherieen eine Strecke weit verschmelzen, nicht sich in einem Punkte tangiren. Nur wenn man die Mittelpunkte beider Kreise deutlich markirt, sieht man im Sammelbilde die Kreise concentrisch gelagert. Auf ein weiteres merkwürdiges Phänomen das bei dem letzten Versuche beobachtet wird, komme ich noch zurück.

Ich nehme hier Gelegenheit eine Bemerkung anzuknüpfen, die, wenn schon auf fast alle, besonders die complicirteren stereoskopischen Versuche anwendbar, doch bei den zuletzt besprochenen besonders nahe liegt, ich meine die veränderte Gestalt des stereoskopischen Bildes relativ zu congruenten Componenten.

Vereinigt man zwei genau gleiche Quadrate zu einem Sammelbilde, so wird man eine Figur sehen, die man bei aufmerksamer Betrachtung nicht für ein Quadrat erkennen kann, indem die Höhe geringer ist als die Breite; das Missverhältniss wächst, aus je grösserer Nähe man die Figur betrachtet und bei einer Annäherung auf 4—5 Zoll sieht man (mit einer Convexbrille) deutlich ein Rechteck, das viel breiter als hoch ist.

Gleicherweise werden zwei gleiche rechtwinklige Kreuze, in denen horizontale und verticale Arme gleich lang sind, ein stereoskopisches Bild liefern, bei dem wir die horizontalen Arme für länger halten als die verticalen. Zwei gleich grosse Kreise liefern im Combinationsbilde eine Ellipse, deren horizontale Axe an Länge die verticale um so mehr übertrifft, aus je grösserer Nähe man die Beobachtung anstellt. Hierdurch aufmerksam gemacht, fand ich, dass auch bei den einfachsten Figuren ein gleiches Verhältniss statt findet, dass z. B. das Sammelbild zweier gleich weiter paralleler Linienpaare verbreitert erscheint. Kurz, es lässt sich die allgemeine Regel aufstellen, dass alle durch Vereinigung congruenter Einzelbilder entstandenen Figuren etwas in die Breite auseinander gezogen

aussehen, und zwar dies in um so auffälligerem Maasse, je näher die Bildebene den Augen sich befindet.

Der Grund ergiebt sich aus den im ersten Abschnitte dieser Abhandlung kurz angedeuteten Lehren von der Perspective der Netzhautbilder. Betrachtet man mit beiden Augen ein gerade vor sich, also in der Region der Medianebene gehaltenes Quadrat, so entstehen von demselben auf beiden Netzhäuten symmetrische Bilder, deren Breite geringer ist als die Höhe, weil die horizontalen Linien eine namhafte mit der Annäherung zunehmende perspectivische Verkürzung erleiden, die senkrechten aber nicht. Böten wir Figuren, welche diesen Netzhautbildern geometrisch ähnlich sind, also annäherungsweise Rechtecke, die höher als breit sind, beiden Augen zur stereoskopischen Verschmelzung, so würden wir ein richtiges Quadrat zu erblicken glauben. Da wir aber breitere Figuren angewandt haben, nämlich Quadrate, so ist das Sammelbild breiter als wir ein Quadrat zu sehen gewohnt sind.

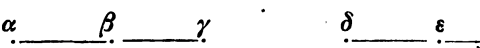
Dies gilt so für einfache als für zusammengesetzte Figuren. Bei ersteren wird die Veränderung des Sammelbildes nicht immer leicht zu entdecken sein, wollte man jedoch z. B. zwei genau gleiche Profilcontouren eines menschlichen Gesichtes stereoskopisch vereinigen, so würde Jeder sogleich gewahr werden, dass das combinirte Bild verzerrt und in die Breite gezogen ist. Um einen natürlichen und richtigen stereoskopischen Effect zu erzielen, bedarf man vielmehr richtiger perspectivischer Bilder, wie sie dem Standpunkte jedes Auges zukommen, die also bestimmte Verschiedenheiten besitzen müssen, niemals aber congruent sein dürfen. Es ist bereits darauf aufmerksam gemacht worden, dass der stereoskopische Eindruck bei congruenten Einzelbildern ein sehr eigenthümlicher, von dem Eindruck bei monocularem Sehen abweichender ist, indem, trotz des Fehlens der dritten Dimension in dem Bilde selbst die Wahrnehmung der Tiefe in vollem Maasse zur Geltung kommt, so dass, im Gegensatz zu monocularen Gesichtseindrücken, das Bild an bestimmtem Ort in der Luft zu schweben scheint. Die Gestaltveränderung, welche solche Bilder bei einer Verschmelzung erleiden, ist noch ein weiterer Grund auch dieser Klasse von Erscheinungen die Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Es könnte scheinen, als wenn das so eben erlangte Resultat: Congruente Einzelbilder sind der Vereinigung zu einem (freilich veränderten) stereoskopischen Bilde fähig — im Widerspruch steht mit einem früheren Ergebniss: Keine ebene geometrische Figur kann congruente Netzhautbilder liefern, ausser, wenn sie in der Medianebene liegt. Doch ist der Widerspruch nur ein scheinbarer, der einer unvermeidlichen Ungenauigkeit des Ausdrucks zur Last fällt. Es wurde seiner Zeit bereits daran erinnert, dass eine gerade Linie in beiden Netzhautbildern gleiche Grösse haben kann, ohne dass beide Bilder darum für absolut gleich

ausgegeben werden dürfen, z. B. brauche der Mittelpunkt einer solchen Linie in beiden gleich grossen Bildern weder in die Mitte, noch überhaupt auf gleiche Punkte zu treffen. Dies gilt in der That für alle geraden Linien, mit alleiniger Ausnahme derer, die in der Medianebene enthalten sind. Sind also zwei im gewöhnlichen geometrischen Sinne congruente Figuren stereoskopisch vereinigt worden, so dürfen sie dennoch nicht für wirklich gleiche und congruente Bilder der im Sammelbilde gesehenen Figur genommen werden; denn es vereinigen sich nicht gleiche (d. h. beim Aufeinanderlegen sich deckende) Punkte zu einem stereoskopischen Bildpunkte. Umgekehrt kann von wirklich congruenten Bildern im strengsten Sinne kein stereoskopisches Bild entstehen.

Einige Beispiele mögen dies veranschaulichen. Zwei horizontale Linien, deren Endpunkte und Halbirungspunkte markirt sind, sollen beiden Augen zur stereoskopischen Vereinigung gegenüber gestellt werden.

Fig. 28.



In Fig. 28 und in Fig. 15, Taf. II. sind α, β, γ und δ, ε, ζ die zu verschmelzenden Punkte. Beide Bilder werden nach der Mitte des Gesichtsfeldes verschoben, bis die Projectionslinien der beiden Endpunkte sich schneiden. Es ist $\alpha\gamma = af$ und $\delta\zeta = bh$. Das Vereinigungsbild der beiden Linien ist ab. Es ist ohne Weiteres klar, dass ab grösser sein muss als $\alpha\gamma$ und $\delta\zeta$, dass das Vereinigungsbild verbreitert erscheint. — Der Abstand $\alpha\beta$ erscheint dem linken Auge unter dem gleichen Gesichtswinkel wie der Abstand $\beta\gamma$ und ebenso $\delta\varepsilon$ dem rechten Auge unter demselben Gesichtswinkel wie $\varepsilon\zeta$. Ist nun $\angle\, aLg = \angle\, bLg$ und $\angle\, aRk = \angle\, bRk$ so liegt nach einem früheren Satze der Schnittpunkt der Linie Lg und Rk nicht in der geraden Linie ab, sondern in der Peripherie eines durch a, b, L und R gehenden Kreises, des Horopters. Die Visirlinien Lg und Rk schneiden die gerade Linie ab in zwei Punkten c und d. Der Mittelpunkt der Linie ab ist demnach nicht durch die Schneidung zusammengehöriger Projectionslinien enstanden, und eben so wenig jeder andere Punkt der Linie ausser den Endpunkten. — Hiernach müsste vielmehr das stereoskopische Bild der Mittelpunkte β und ε hinter der Ebene des Papiers liegen, und die fernere Anwendung des angenommenen Satzes lehrt, dass zwei horizontale Linien, falls die der Lage nach entsprechenden Punkte als zusammengehörig beachtet und verschmolzen werden, als eine gekrümmte Linie gesehen werden müssen. Ein Quadrat müsste als ein Stück eines Cylindermantels gesehen werden. Lange ehe ich auf theoretischem Wege zu diesem Resultate gekommen war, hatte ich diese letztere Beobachtung gemacht und vergeblich dem Grunde nachgesonnen. Indessen selbst bei grösserer Aufmerksamkeit ist es oft schwer, sich von der stereoskopischen Krümmung der horizontalen

Linien zu überzeugen, einmal weil bei irgend erheblicher Entfernung die Krümmung eine sehr flache und geringfügige ist, sodann weil oft nicht die kleinen Punkte als zusammengehörig erkannt werden und es natürlicher ist, die Linie in die Bild-Ebene zu verlegen. Daher habe ich auch bei den früheren Betrachtungen diesen nur unter besonders günstigen Erscheinungen zu Tage tretenden Effekt nicht berücksichtigt. Folgende Bedingungen erleichtern die Beobachtung einer cylinderförmigen Krümmung. Man beobachte aus grösstmöglichster Nähe; man nehme zur Untersuchung lange, nicht zu dünne Horizontallinien; man bezeichne die zusammengehörigen Punkte durch kleine Theilstriche; man benutze lieber etwas zusammengesetztere Figuren. Im Sammelbilde der folgenden Figur wird man die Krümmung kaum verkennen können.

Fig. 29.

Bietet man jedem Auge drei senkrechte Parallellinien von gleichem Abstande, so erscheint die mittlere etwas entlegener, jenseits der Ebene des Papiers, eine Beobachtung, die freilich ein geübtes Auge verlangt. Ein leichterer Versuch, wohl die bequemste Methode sich von der Krümmung des Gesichtsfeldes zu überzeugen, ist folgender. Man lege zwei gleiche Drucke nebeneinander, so dass sie stereoskopisch einfach gesehen werden können. Da hier die zusammengehörigen Punkte auf das Vollkommenste bezeichnet sind, so muss nothwendig jede Zeile in einen Horiopterkreis fallen und das Gesichtsfeld ungefähr ein Stück eines Cylindermantels darstellen. Bewaffnet man die Augen mit starken Convexgläsern +3 oder 4 und betrachtet aus entsprechender Nähe, so ist die Krümmung sehr auffallend; sie nimmt ab, je weiter man sich entfernt. Zugleich wird man wahrnehmen, dass die Buchstaben vergrössert erscheinen, abgesehen von der Vergrösserung des etwa benutzten Convexglases, was, wenn man genau zusieht, sich hauptsächlich auf die Breiten-Dimension bezieht, ganz conform den obigen Erfahrungen an allen congruenten Figuren. Auch die verticalen Linien der Einzelbilder dürfen ausser der einen, die in der Medianebene liegt (von der ein Punkt fixirt wird), nicht geradezu als identische Bilder der stereoskopischen Figur betrachtet werden, falls man nämlich ganz genau zu Werke geht; denn, wie sich alsbald herausstellen wird, sind hier die Differenzen sehr minutiös. Es ist früher bereits erwähnt worden, dass Linien, welche der Medianebene parallel laufen (schlechtweg senkrechte), nicht aber in dieser liegen, auf beiden Netzhäuten sich nicht in gleicher Weise abbilden, weil sie dem einen Auge näher stehen und unter einem grösseren Gesichtswinkel

erscheinen, als dem andern. Die Netzhautbilder von solchen Linien können also nie vollkommen gleich sein; gleiche Bilder würden unter diesen Umständen nur aus unendlicher Ferne entstehen können. Da wir gleich grosse Linien, auch wenn sie nicht der Medianebene angehören, stereoskopisch vereinigen und sie in die Entfernung von wenigen Zollen verlegen, so dürfen diese Linien nicht in aller Strenge als identische Bilder der stereoskopisch verschmelzenden Figuren angesehen werden. Vielmehr würden die Punkte der stereoskopischen Linien nicht durch Schneidung zusammengehöriger Projectionslinien entstanden sein, sondern durch Schneidung von Projectionslinien, welche in beiden Componenten nicht auf genau gleicher Höhe liegen. Die Projectionslinien aber, welche von gleich hohen Punkten der zu vereinigenden Linien ausgehen, treffen sich, wie weiterhin ausführlicher dargethan werden soll, niemals, sondern gehen an einander vorüber. Rechnung sowohl als Beobachtung ergeben nun, dass die Unterschiede, um die es sich handelt, ausserordentlich klein sind, bei weitem nicht an die Unterschiede in dem vorhergehenden Falle bei Horizontallinien heranreichen. Demgemäss glaubte ich in allen früheren, wie in den noch folgenden Untersuchungen diese praktisch ganz unwichtigen Differenzen vernachlässigen zu dürfen. In Bezug auf die genauere Berechnung muss ich auf eine spätere Stelle verweisen. Die Beobachtung anlangend, bemerke ich, dass dieselbe noch difficiler ist als die frühere. Folgender Versuch, der ohne Stereoskop anzustellen ist, dürfte am ehesten zur Prüfung der Richtigkeit des Gesagten zu empfehlen sein.

Man lege zwei gleiche, genau gezeichnete Quadrate, deren Seite zwei Zoll beträgt, neben einander, so dass nur ein geringer Zwischenraum von wenigen Linien zwischen ihnen bleibt. Die Linien seien möglichst fein. Nach der stereoskopischen Verschmelzung fixire man eine der verticalen Seiten der Figur, so sieht man dicht daneben das eine Doppelbild des einen Quadrats. Man erkennt nun, dass die Seite des Quadrats und die Seite der Verschmelzungsfigur nicht von genau gleicher Länge sind, letztere vielmehr die erstere um ein Geringes übertrifft. Bei einer Länge der Seite von zwei Zoll beträgt der Unterschied nur etwa den dritten Theil einer Linie, daher er nur bei sorgfältigem Aufmerken wahrgenommen wird. — Um im Normalbilde ein wirkliches Quadrat zu gewinnen, müsste man die äussere Seite beider componirenden Rechtecke (die den früheren Betrachtungen zufolge erforderlich sein würden) um ein Geringes niedriger machen als die inneren. Wenn beide Seiten gleich sind, so ist die Folge, dass im Sammelbilde der Parallelismus der horizontalen Seiten aufgehoben wird und dieselben eine spurweise Krümmung zeigen, deren Concavität nach oben resp. nach unten sieht.

Nicht ohne Interesse ist es, diesen Versuch dahin zu modificiren, dass man die Quadrate schachbrettartig in eine Anzahl quadratischer

Felder eintheilt, an denen man dann im Sammelbilde bei sorgsamer Beobachtung mannigfache Irregularitäten entdecken wird. Am leichtesten erkennt man, dass jedes Feld breiter als hoch ist, sodann erscheinen die Horizontalen horopterförmig nach der Tiefe gekrümmt und ausserdem noch je nach der Augenstellung nach oben oder unten gekrümmt, welche letztere Krümmung indess so gering ist, dass sie an den kleinen Quadraten kaum wahrgenommen werden kann, wohl aber an den grossen.

Noch widme ich einige Worte einem Versuche, der für oder besser gegen die Identitätstheorie von Wichtigkeit ist. — Gleiche Kreise sollen stereoskopisch verschmolzen werden. Die Projectionslinien aller Punkte des kreisförmigen Netzhautbildes bilden den Mantel eines Doppelkegels, dessen Spitze im Kreuzungspunkte der Projectionslinien liegt. So in jedem Auge. Die Axen der Kegel convergiren nach dem Mittelpunkte der Bildebene. Aus den mehrfach erwähnten Gründen, die in einem späteren Abschnitte von einem anderen Gesichtspunkte aus beleuchtet werden sollen, werden sich die Projectionslinien correspondirender Punkte niemals schneiden, sondern an einander vorbeigehen. Die Bildebene aber, die der Angesichtsfläche parallel gedacht werden soll, wird von beiden Kegeln in Ellipsen geschnitten und zwar in Ellipsen, die im gewöhnlichen geometrischen Sinne congruent sind. Was aber wohl zu beachten ist: So lange die Achsen der Kegel sich im Mittelpunkte schneiden, fallen die beiden Ellipsen nicht zusammen, sondern sind, gleichwie ihre Mittelpunkte in der Richtung der grösseren Querachse, übereinander verschoben (wie Fig. 16, Taf. II. zeigt, wo a der Schnittpunkt der Projectionslinien der Kreismittelpunkte oder Kegelachsen ist; b und c die Mittelpunkte der beiden Ellipsen). Die beiden Ellipsen können nun zwar leicht durch eine kleine Verschiebung der Sehfelder zur Deckung gebracht werden; aber dann fällt das stereoskopische Bild der Mittelpunkte beider Kreise hinter die Ebene des Papier in den betreffenden Horopter. Die einzelnen Punkte der stereoskopisch gesehenen Ellipse sind nicht die Bilder gleicher Punkte der vereinigten Kreise.

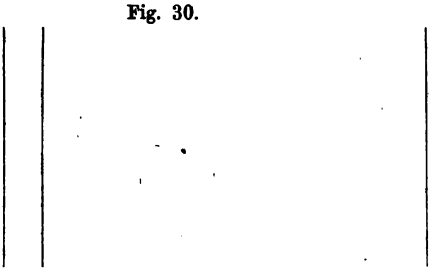
Man möchte vielleicht erwarten, dass durch stereoskopische Combination zweier gleichen Kreise eine Kugel entstehen würde, da ja die perspectivischen Bilder der Kugel stets zwei gleiche Kreise sind. Allein die beiden grössten Kreise der angeschauten Kugel, deren Bilder die Kreise auf der Netzhaut sind, liegen in ganz verschiedenen Ebenen, in denjenigen nämlich, welche auf der Verbindungslinie des Kugelmittelpunktes und des Kreuzungspunktes der Projectionslinien jedes Auges senkrecht stehen. In solche Ebenen müssten wir auch die Netzhautbilder verlegen, nicht aber mit einander verschmelzen, wenn wir den körperlichen Eindruck einer Kugel gewinnen wollten. Bei einfachen Con-

tourzeichnungen ist dies unmöglich, da die dominirenden Contouren einen solchen Zwang auf die Augenbewegung ausüben, dass die Verschmelzung zu einer der Bildebene angehörigen Ellipse durch den Willen nicht verhindert werden kann. Genaue perspectivische Zeichnungen einer an der Oberfläche mit einer Zeichnung, etwa mit einem Meridiansysteme versehenen Kugel bringen dagegen den körperlichen Eindruck einer Kugel hervor. Photographische Abbildungen eines Erdglobus, von verschiedenen Standpunkten aus aufgenommen, würden sich zu einem solchen Experimente empfehlen.

Eine besondere Reihe stereoskopischer Phänomene, welche für die Lehre vom binocularen Einfach- und Doppeltsehen von grosser Wichtigkeit sind, Phänomene, die auf unvollständiger Aehnlichkeit und daher unvollständiger Deckung der zu verschmelzenden Bilder beruhen, habe ich bisher absichtlich ausser Discussion gelassen, um sie zusammenzustellen, einestheils, weil ihre Beobachtung eine gewisse Sicherheit in der Beurtheilung der Tiefendimension erfordert und die Kenntniss der früheren Experimente voraussetzt, anderntheils, weil ein neues Element in die Erklärung hineingezogen werden muss. Demjenigen, der die bisher erwähnten Experimente ausgeführt und aus ihnen eine sichere Ueberzeugung über den Mechanismus aus der körperlichen Wahrnehmung gewonnen hat, werden, glaube ich, die allerdings für den ersten Augenblick paradoxen Erscheinungen der folgenden Experimente keine Schwierigkeit bieten. Einige ähnliche Versuche finden sich bereits bei Panum vor, doch ungenau beobachtet und unter eine unrichtige, das Wesen der Sache gar nicht treffende Erklärung gebracht. Um zugleich Panum's Angaben berichtigen zu können, werde ich mich möglichst an die von ihm gegebenen Experimente halten.

Der einfachste Versuch dieser Reihe ist wohl folgender: Einem Auge werde ein Paar senkrechter Parallellinien, dem zweiten eine einfache Senkrechte dargeboten.

Fig. 30.



Im Sammelbilde kann die Senkrechte des rechten Auges beliebig mit jeder der beiden Senkrechten des linken Auges zur Verschmelzung

gebracht werden und die Verschmelzungslinie charakterisirt sich dann durch eine grössere Deutlichkeit und Schwärze und räumliche Bestimmtheit, d. h. es scheint dieselbe deutlich in der Ebene des Papiers zu liegen. Die zweite Linie aber, weniger schwarz und deutlich, erweist sich bei aufmerksamer Betrachtung nicht genau parallel der Verschmelzungslinie und liegt auch nicht in derselben Ebene. — Ist die linke Linie des Sammelbildes die combinirte, so erscheint die rechte mit dem obern Ende nach vorn, mit dem untern nach hinten verschoben, ungefähr mit der Mitte in der Bildebene zu liegen. Ist hingegen die rechte Linie die Verschmelzungslinie, so ist die linke mit dem obern Ende nach hinten, dem untern Ende nach vorn geneigt. Also: Stets sind beide Linien so gegeneinander geneigt, dass die rechte mit dem obern Ende dem Auge näher, mit dem untern Ende ferner ist als die linke Linie. — Kehrt man das Bild um, so dass das Linienpaar rechts steht, die Einzellinien links, so ist auch das Verhalten im Sammelbilde umgekehrt; immer erscheint dann die rechte Linie mit dem obern Ende ferner, mit dem untern näher. Man kann die Abweichung der einen Linie von der Bildebene dadurch corrigiren, dass man die Einzellinie ein klein wenig nach oben divergiren lässt.

Die Erklärung dieser seltsamen Erscheinung scheint mir in dem zu liegen, was in den einleitenden Bemerkungen über die Localisation der Bilder bei monocularem Sehen gesagt ist und was später weiter ausgeführt werden wird. Bei Benutzung eines Auges vermögen wir über die Entfernung nur sehr unvollkommen zu urtheilen, und wir verlegen daher, wenn nicht ganz bestimmte Gründe ein Anderes verlangen, sämmtliche Punkte des Netzhautbildes in gleiche Entfernung, also in eine Kugelfläche, deren Mittelpunkt im Kreuzungspunkte der Projectionslinie liegt, und deren Radius theils durch den Accommodationszustand, theils durch zufällige Momente bestimmt wird. Ich legte dieser Kugelfläche den Namen Projectionssphäre bei. Dass wir nicht immer eine sphärische Krümmung des einseitigen Sehfeldes bemerken, liegt an der Grösse des Radius der Kugelfläche und an den zuhülfekommenden Vorstellungen, welche die Localisation berichtigen. Oft genug aber sind wir im Stande, uns von der Krümmung zu überzeugen, wofür ich später Beispiele liefern werde. Die Projectionsweise in gleiche Entfernung ist nur als ein Nothbehelf zu betrachten, dessen wir nicht mehr bedürfen, sobald ein neues Moment über die Entfernung Auskunft giebt. — Im obigen Versuche, wie bei allen stereoskopischen Versuchen, hat jedes Auge sein eigenes Bild, bei getrennter Betrachtung ist das Urtheil über die Entfernung jedes Punktes des Bildes ein unvollkommenes. Sind die Bilder so beschaffen, dass alle Contouren mit mehr oder weniger perspectivischer Verschiebung zur Deckung gelangen oder dass kleinere Abweichungen mit Leichtigkeit ignorirt werden können, so entsteht ein vollkommen

bestimmter stereoskopischer Eindruck, da die Schneidung der Projectionslinien den Ort der Punkte im Raume angiebt. Anders verhält es sich aber, wenn die Contouren beider Bilder nicht zur Deckung gebracht werden können. Dann können wohl die Figuren im gemeinschaftlichen Sehfelde übereinander liegen, aber sie werden nun nicht mit Nothwendigkeit in die Bildebene verlegt, sondern in die Projectionssphäre jedes Auges, also in zwei sich schneidende Kugelflächen. Nun liegen zwar die verschiedenen Punkte beider Bilder, ja selbst die verschiedenen Punkte eines Bildes in verschiedener Tiefe (von der Angesichtsfläche aus gerechnet), aber jede Beobachtung lehrt wie diese Tiefenwahrnehmung von der binocularen stereoskopischen gänzlich verschieden ist, sowohl in Bezug auf die Schärfe und Energie der Wahrnehmung, als in Bezug auf ihre Constanz, und den Einfluss der Vorstellung. Panum ist es wiederholt begegnet, beide Arten der Tiefenwahrnehmung zu verwechseln, woraus natürlich wesentliche Irrthümer fliessen müssen. — Um auf ein früher besprochenes Beispiel zurückzukommen, den binocularen Anblick eines Erdglobus, so liegt darin ein Beweis, welchen Einfluss eine ergänzende Vorstellung auf die Wahrnehmung ausüben kann. Wir übersehen nur einen mittleren Theil der Kugel, der kleiner ist als eine Halbkugel, mit beiden Augen. Nach den Gesetzen des stereoskopischen Sehens wird dieser Theil der Kugel aus den beiden zusammenwirkenden Netzhautbildern im Raum als Kugeloberfläche construirt; es entsteht die ganz präcise Wahrnehmung einer sphärisch gekrümmten Fläche. Nun übersieht jedes Auge noch ein Stück des Globus, das von dem andern nicht gesehen wird. Die diesen Stücken entsprechenden Theile der Netzhautbilder werden nicht etwa in die Projectionssphäre des Auges verlegt, sondern die Einbildungskraft wird angestrengt, um diese Bildtheile zur Vervollständigung des kugelförmigen Körpers zu benutzen.

Doch ich kehre zu dem Versuche Fig. 30 zurück. — Von den beiden Parallellinien des linken Auges kann nur eine mit der Einzellinie des rechten Auges verschmelzen, die andre wird nur von einem Auge gesehen. Die Combinationslinie wird da gesehen, wo die beiden die Projectionslinie enthaltenden Ebenen sich schneiden, also in der Ebene des Papiers; die Lage der andern Linie hingegen ist in keiner Weise näher bestimmt und es liegt kein Grund vor, sie aus der monocularen Projectionssphäre des linken Auges heraustreten zu lassen. Das obere Ende scheint ebenso fern wie das untere. Die Linie erscheint gewissermassen als Sehne oder flacher Bogen der Projectionskugelfläche und gegen die Ebene des Papiers geneigt, da diese eine andere Richtung hat als die Projectionssphäre, in welchem Grade und nach welcher Richtung hängt von der Stellung der Angesichtsfläche gegen die Bildfläche ab.

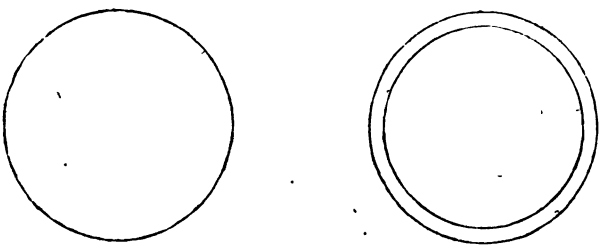
Für die Richtigkeit dieser Erklärung spricht eine Beobachtung, welche man bei manchen der früheren Experimente machen kann, wenn man

die Verschmelzung bei freiem Auge, ohne Stereoskop, geschehen lässt. Lässt man nämlich die zu vereinigenden Bilder, welche, wie bei diesen Versuchen gewöhnlich, auf einem Tische liegen, sich langsam nähern, indem man die Sehaxen ganz allmählig in die parallelle Richtung übergehen lässt, so scheinen die senkrechten Linien nicht parallel zu bleiben, sondern je mehr sie sich einander nähern, um so deutlicher scheinen sie mit dem oberen Ende ein wenig zu convergiren. Obwohl ich weiss, dass Mancher dies durch eine auf die Sehaxe projectirte Bulbusdrehung und demzufolge durch Veränderung in der Stellung der Trennungslinien identischer Netzhautquadranten wird erklären wollen, so muss ich doch die durch eine grosse Versuchsreihe gewonnene Meinung festhalten, dass es sich lediglich um die angedeuteten Erscheinungen der Perspective handelt. Ich will diesen Punkt hier nicht weiter ausführen, da derselbe bei Gelegenheit des physiologischen Doppeltsehens eine eingehendere Behandlung erfahren soll.

Panum macht in dem in Rede stehenden Falle eine ganz andre Beobachtung. Er sieht im Verschmelzungsbilde die rechte Linie ganz vor der linken liegen, gleichgültig, mit welcher der beiden Parallellinien die Einzellinie des rechten Auges verschmilzt.*) Ich kann dem gegenüber nur meine Beobachtung als vollkommen constant und sehr deutlich wahrnehmbar festhalten. Der Erklärung Panums mittelst geometrischer Construction**) kann ich gleichfalls nicht beistimmen, wofür die Gründe in dem bereits Gesagten enthalten sind.

Noch in Bezug auf einen ferneren Versuch muss ich Panum widersprechen. — Beide Augen erhalten gleiche Kreise; für das eine Auge jedoch, z. B. für das rechte, ist in den Kreis ein kleinerer concentrisch eingezeichnet.

Fig. 31.



Bei stereoskopischer Deckung sehe ich zwei kreisähnliche Figuren in verschiedenen Ebenen. Die grössere Figur ist bei genauerer Betrachtung als eine in der Bildebene gelegene Ellipse mit grösserer Querachse

*) l. c. p. 76.

**) l. c. p. 78 und 79.

zu erkennen; die kleinere dagegen scheint ein Kreis zu sein, der gegen die Ebene der Ellipse seitlich so geneigt ist, dass der linke Rand des Kreises sich vor dem linken Rande der Ellipse befindet. Ausserdem erscheint der Kreis auch noch um den horizontalen Durchmesser gedreht, indem sein unterer Rand etwas jenseits, der obere etwas diesseits der Bildebene sich befindet. Panum lässt die letztere Umdrehung unerwähnt, mit Bezug auf die seitliche Drehung giebt er das Umgekehrte an, der linke Rand des kleinern Kreises werde hinter dem des grössern gesehen*) — vielleicht nur ein Lapsus calami?

Meine Beobachtung steht offenbar mit dem vorhergehenden Versuche und dessen Interpretation ganz im Einklang. Der kleine Kreis des einen Bildes hat im Bilde des andern Auges keine Contour, mit der er zusammenfliessen könnte. Er wird also, statt als concentrische Ellipse in die Bildebene projicirt zu werden, in die natürliche Projectionssphäre des Auges verlegt, und eine in dieser Lage durch den Kreis gelegte Ebene hat, wie leicht einzusehen, die bezeichnete doppelte Neigung gegen die Ebene des Papiers. Die Fig. 17 Taf. III denke man in einer Ebene, welche durch die Grundlinie (LR) und die Mittelpunkte der zu vereinigenden Bilder gelegt ist. Diese Ebene ist also schräg gegen den Horizont geneigt. $\alpha\beta$ ist die Schnittlinie dieser schrägen Ebene mit der horizontalen (auf einem Tische liegenden) Bildebene, a und b sind dann die Schnittpunkte der durch stereoskopische Verschmelzung gebildeten Ellipse. Dann bezeichnet die Sehne cd der Projectionssphäre des rechten Auges den Durchschnitt der Ebene des kleinen Kreises. Ebenso kann man sich die zweite Schiefheit versinnlichen. Fig. 18 Taf. III befindet sich in einer Ebene, die durch den Kreuzungspunkt der Visirlinien des rechten Auges (R) und die Medianlinie der Bildebene (mon) gelegt ist. mon ist die Durchschnittslinie dieser Ebene mit der Ebene der in der Bildfläche gelegenen Ellipse, pq die Durchschnittslinie mit der Ebene des in der Projectionssphäre gesehenen kleinen Kreises.

Es muss übrigens bemerkt werden, dass die Energie der Wahrnehmung in diesen und ähnlichen Fällen eine viel geringere ist als in denjenigen, wo die Contouren sich stereoskopisch vollkommen decken. Zudem haben diese monocularen Wahrnehmungen etwas Bewegliches und Inconstantes, was freilich wiederum geeignet ist, auf die geistige Thätigkeit beim Sehact Licht zu werfen. Ich erwähne nur einige auffallende Veränderungen, die sich bei obigem Versuche oft einstellen. Lässt man den Radius des kleinen Kreises stärker als in Fig. 31 von dem des grössern Kreises differiren, so spricht sich die verschiedene Lage der Figuren im Sammelbilde besonders darin aus, dass die kleine Figur nicht concentrisch in der grössern liegt, dass die Bogen vielmehr an verschie-

*) l. c. pag. 77.

denen Stellen der Peripherie ungleichen Zwischenraum zwischen sich lassen. Wenn nun der kleinere Kreis im Allgemeinen auch die erwähnte Lage einhält, so sieht man bei längerer Beobachtung doch zeitweise das Bestreben hervortreten, sich mit der Contour der Ellipse zu vereinigen. Als wenn die linke Hälfte der Ellipse eine Attraction auf den Kreis übe, nähert sich ihr derselbe bald mehr bald weniger, und verschmilzt für Augenblicke, ja geht über dieselbe hinaus, so dass die Peripherie der Ellipse von der Peripherie des Kreises geschnitten wird. Dabei ändert sich die Gestalt des Kreises sowohl, als auch in geringerem Grade die der Ellipse; erstere verbreitert sich, letztere verschmälert sich und flacht sich ab; beide Gestaltveränderungen beziehen sich aber fast nur auf die linke Hälfte des Bildes, indess die rechte Hälfte sowohl der Ellipse als des Kreises sich ziemlich gleich bleiben. Mit diesen Bewegungen und Gestaltveränderungen sind auch undeutliche Veränderungen der Tiefe nach verbunden; es ist, als würde die linke Hälfte beider Figuren etwas nach hinten gebogen. Bei diesen Vorgängen kommt es zuweilen vor, dass grosse Stücke des Bildes dem Blicke für Augenblicke ganz entschwinden, manchmal sogar der ganze kleine Kreis; kurz, es zeigt sich klar aus alledem, dass die nur in einem Auge auftretende Contour nicht befriedigt, dass sie eine sehr kräftige Tendenz hervorruft, irgendeine Verschmelzung eintreten zu lassen. Die einzige Contour, mit der eine Verschmelzung möglich ist, ist die linke Hälfte des Kreises des linken Auges. Die Projectionslinien La und Rc (Fig. 17 Taf. III) können sich allerdings hinter der Bildebene schneiden und die beobachteten Gestalt- und Tiefeveränderungen stimmen damit überein, und es ist damit auch der Grund gegeben, dass immer nur nach links hin sich ein solches Verschmelzungsbestreben manifestirt. Verschmilzt der äussere Bogen des linken grösseren mit demselben Bogen des kleinern Kreises auf der rechten Seite, so bleibt der linke Bogen des rechten grössern Kreises unvereinigt; derselbe kommt aber nur sehr unregelmässig zur Preception; bald fehlt er ganz, bald und zwar seltener wird er als den kleinen Kreis schneidend wahrgenommen.

Ein Beispiel unvollständiger Deckung stereoskopischer Bilder führe ich an, wo die Projection in die beiden getrennten Projectionssphären erfolgt. Es ist dies ein Versuch, der gleichfalls von Panum*) angeführt, aber nicht ganz correct beobachtet und bestimmt nicht richtig erklärt ist.

Jedem Auge wird ein Kreis geboten; die Grösse beider muss so bedeutend verschieden sein, dass eine völlige Verschmelzung nicht mehr möglich ist. Im stereoscopischen Bilde gelingt es nur dann, beide Kreise ungefähr concentrisch zu sehen, wenn in der Mitte jedes Kreises eine Figur angebracht ist, welche die Fixation dauernd zu fesseln im Stande

*) l. c. pag. 74.

ist. Andernfalls übt der grosse Kreis eine Attraction auf den kleinen, so dass seitlich ein Theil beider Peripherien verschmilzt. Dieses verschmolzene Stück wird dann so gesehen, wie die obigen Regeln es angeben, nämlich als ein schief gerichteter Bogen, der seine Concavität dem Beobachter zu und nach der Seite richtet; die anderen nicht verschmelzenden Theile der Peripherie beider Kreise liegen aber in ganz anderen Ebenen, jede nämlich in derjenigen, die durch die Lage der Projectionssphäre des betreffenden Auges bestimmt wird. Verschmelzen z. B. die linken Theile der Peripherie, so liegt der linke Kreis vor, der rechte hinter der Bildebene; verschmelzen die rechten Bögen, so liegt umgekehrt der linke Kreis hinter, der rechte vor der Bildebene; beide aber schräg gegen die Bildebene gerichtet, so dass ihre Ebenen sich da treffen, wo die Verschmelzung aufhört. Es ist schwer zu erkennen, dass beide Kreisebenen von der Ebene des Papiers abweichen; gewöhnlich sieht es aus, als läge der eine Kreis in der Ebene des Papiers, und der andere gegen dieselbe geneigt. Dass aber dies nur Folge der unbestimmten Wahrnehmung ist und dass keiner von beiden Kreisen in die Ebene des Papiers projicirt wird, ist schon daraus zu ersehen, dass man nicht Ellipsen sondern Kreise zu sehen glaubt.

Einiger weiterer stereoskopischer Erscheinungen brauche ich, da sie für die Theorie nichts wesentlich Neues bieten, nur mit kurzen Worten Erwähnung zu thun, um die Anwendbarkeit der bisher entwickelten Principien auf sie darzuthun. Die Resultate der stereoskopischen Combination von Farben und farbigen Bildern, das Phänomen des Glanzes und Aehnliches übergehe ich, als für die vorliegende Aufgabe von keiner Bedeutung.

Sehr bekannt sind die zuerst von Dove und Halske beobachteten Bewegungserscheinungen nach der Dimension der Tiefe, die man durch seitliche Verschiebung der constituirenden Bilder erzeugt. Die Nothwendigkeit derselben folgt unmittelbar aus dem Hauptsatz für die stereoskopische Vereinigung. Je geringer der Abstand zweier Punkte in den Einzelbildern ist, um so näher ist der Verschmelzungspunkt im Sammelbilde; und je näher ersterer Abstand wird, um so näher wird auch der Verschmelzungspunkt. Die continuirliche Verringerung der seitlichen Distanz in den Einzelbildern hat eine eben so continuirliche Verringerung der Entfernung des Sammelbildes zur Folge; wie jene eine Bewegung von einer Seite zur andern ist, so diese eine Bewegung von hinten nach vorn. Die Erklärung ist so einfach, dass sie sich von selbst zu verstehen scheint.

Gleiches gilt für die neueste, praktisch wichtige, von Dove*) gemachte Anwendung des Stereoskops zur Prüfung identischer Drucke. Buchstaben oder Zeichen, welche auf den zu vergleichenden Proben keine genau gleiche Stelle einnehmen, entdeckt man bei stereoskopischer Vereinigung oft leichter als mit blossen Augen. Wenn die Differenz in der Stellung eine seitliche ist, so tritt der Buchstabe aus der Ebene (oder besser Fläche) des stereoskopischen Bildes heraus und zwar nach vorne, wenn die Abweichung nach innen, nach hinten, wenn sie nach aussen stattfindet. (Aussen und innen auf die Medianebene bezogen, wenn zu jeder Seite eins der zu prüfenden Exemplare liegt.) Eine Abweichung nach oben oder unten kann keine Tiefendifferenz zur Folge haben, doch würden kleine Fehler dieser Art schon dem blossen Auge auffallen. — Es wurde oben bereits erwähnt, dass die Bildfläche, in der wir die stereoskopisch combinirten Drucke sehen, nicht eben ist, sondern cylinderförmig gekrümmt, was freilich stark auffällig nur bei ziemlicher Annäherung ist. Hiervon zu unterscheiden ist die Krümmung der Bildfläche, welche nach Dove dann beobachtet wird, wenn die Drucke oder Zeichnungen zwar gleich und gleichen Ursprungs sind, aber das Material (Papier, Metall) ungleiche Ausdehnung oder Zusammenziehung erlitten hat, so dass nun die Entfernung der einzelnen Buchstaben oder Zeichen an beiden Proben nicht mehr absolut gleich ist. Die Bildfläche scheint zum Stereoskop dann schräg zu stehen, indem die eine Seite dem Auge näher ist als die andere; zugleich findet eine regelmässige Krümmung des Gesichtsfeldes statt, die aber nicht einem Cylindermantel entspricht, vielmehr ist die Durchschnittslinie der gekrümmten Fläche, wie die Construction ergiebt, eine Curve, deren Analyse ich, als nicht von Wichtigkeit für das Thema, übergehe.

Der Vertauschung der zu vereinigenden Bilder ist bereits mehrmals gedacht worden und wurde dabei stets eine directe Umdrehung des Effects in Bezug auf die Tiefe beobachtet. Was in den einzelnen Fällen gefunden wurde, lässt sich leicht für alle Vertauschungen verallgemeinern. Nach dem Wechsel der Bilder sind nämlich alle seitlichen Distanzen verändert; je grösser die Abstände der zusammengehörigen Punkte vorher waren, desto kleiner sind sie nun; je kleiner sie in der früheren Stellung waren, desto grösser nun. Stereoskopisch muss daher jeder Punkt, je näher er früher gesehen wurde, um so ferner jetzt erscheinen, und umgekehrt. Es tritt also eine vollständige Inversion des Objects ein, wie man einen Handschuh umkehrt. Beziehen sich die Bilder auf complicirtere Objecte, deren perspectivische Ansichten die

*) Anwendung des Stereoskops, um einen Druck von seinem Nachdruck, überhaupt ein Original von seiner Copie zu unterscheiden, in Dove's Optische Studien, Fortsetzung der in der „Darstellung der Farbenlehre" enthaltenen. Berlin 1859, pag. 26.

Zeichnungen darstellen, so entsteht, wie hiernach leicht erklärlich, und wie schon Wheatstone fand, oft ein ganz widersinniges Resultat. Wenn z. B. die perspectivischen Ansichten eines Gebäudes vertauscht werden, so dass die Ansicht des linken Auges rechts, die des rechten links aufgestellt wird, so erblickt man ein mit Tiefendimensionen deutlich und schön ausgestattetes Bild, das gewissermassen ein hohles Haus vorstellt, in welches man hineinsieht. Dass diese unsinnigen Effecte von allen aufmerksamen Beobachtern gleich und mit völliger Schärfe und Entschiedenheit wahrgenommen werden, ist ein Beweis, wie wenig die sonst auf unsere Vorstellungen so einflussreiche Einbildungskraft dem gesetzmässigen Mechanismus der Wahrnehmung gegenüber vermag, sofern das der Wahrnehmung zu Grunde liegende, durch das peripherische Empfindungsorgan gelieferte Material ein zureichendes ist. — Auch unter diesen oft sehr merkwürdigen Erscheinungen giebt es keine, die sich den bisherigen Erläuterungsprincipien nicht mit Leichtigkeit fügt.

Wie eine totale Umkehrung der Tiefenverhältnisse möglich ist, so können auch geringere Störungen und Unregelmässigkeiten in der Wahrnehmung derselben vorkommen, die sich zunächst auf die Grösse der Tiefenabstände, auf den Grad des Reliefs beziehen. Es giebt Fälle, wo bei binocularem Sehen irrthümliche Vorstellungen von der Tiefe, zu geringes oder zu starkes Relief erzeugt werden, indem die natürlichen Verhältnisse der Netzhautbilder auf künstlichem Wege modificirt werden. Helmholtz hat durch die Erfindung des Telestereoskops zuerst die Aufmerksamkeit auf diese Erscheinungen gelenkt.

Es ist bereits mehrfach erwähnt worden, dass der Grad der perspectivischen Verschiedenheit der Netzhautbilder eines Gegenstandes aufs Genaueste mit seiner Entfernung vom Beobachter zusammenhängt. Die Unterschiede nehmen ab, je ferner ein Object ist; je grösser der Abstand vom Auge wird im Verhältniss zum Abstand beider Augen von einander. Der letztere, nur $2^1/_2$ Zoll betragend, ist so gering, dass er gegen eine irgend namhafte Entfernung gar nicht ins Gewicht fällt; und deshalb sind die Differenzen der Bilder schon für Objecte in sehr mässiger Entfernung so unbedeutend, dass sie nicht mehr wahrnehmbar sind und die Bilder als identisch gelten können. Da die genauere Wahrnehmung der Tiefendimension, sowohl der Entfernung des Objects vom Auge, als der körperlichen Ausdehnung des Objects selbst, vorzugsweise von der Verschiedenheit der Netzhautbilder abhängt, so geht diese Wahrnehmung für alle ferneren Objecte verloren. Das Telestereoskop giebt uns ein Mittel an die Hand, die Beobachtungsstandpunkte auseinander zu rücken; auf den Netzhäuten Bilder zu erzeugen, welche dergestalt verschieden sind, als ständen beide Augen mehrere Fuss von einander entfernt. Wie-

wohl dieser Abstand für sehr grosse, meilenweite Entfernungen wenig in Betracht fällt, so ist er doch für eine gewisse mittlere Entfernung (etwa bis zu einer halben Meile) erheblich genug, um deutlich wahrnehmbare Verschiedenheiten in beiden Netzhautbildern zuzulassen. Demgemäss sehen wir mit dem Helmholtz'schen Instrumente die Gegenstände der Landschaft nicht mehr wie ein Gemälde auf der Fläche, sondern da wir jetzt die Tiefendistanzen wahrnehmen, erhalten wir einen körperlichen Eindruck, wie sonst nur von nahen Gegenständen. Wir glauben in geringer Ferne ein zierliches, verkleinertes Modell der Landschaft zu sehen, dass bei der Schärfe seiner Contouren und der unverkürzten Fülle der natürlichen Farben einen sehr gefälligen Eindruck macht. Es fragt sich, woher sich die Verkleinerung schreibe. Nach den bisher ausgeführten Anschauungen lässt sich eine vollständige Erklärung dieses Factums geben.

In Fig. 19 Taf. III seien L und R die Augen, cd und gh, ef und kl seien die vier Spiegel des Telestereoskops, von denen die beiden ersteren und die beiden letzteren einander parallel gestellt sind. Der Winkel, unter dem die mittleren Spiegel gegen einander geneigt sind, sei ein rechter. Ein ferner Gegenstand AB bildet sich vermöge der doppelten Reflexion auf den Netzhäuten in $\alpha,\beta,$ und $\alpha,,\beta,,$ ab. Die Wirkung des Instruments besteht also darin, dass die Netzhautbilder diejenige Lage, Gestalt und Grösse haben, als befänden sich die Augen viel weiter aus einander in $L,$ und $R,$. Die Richtung, in welcher der Punkt A des Objects vom linken Auge gesehen wird, ist bezeichnet durch die Linie $c\alpha,,$ welche wegen des Parallelismus der Spiegel cd und λg parallel der Linie hA ist. Ebenso ist $\alpha,\beta,$ parallel gB und im andern Auge $e\alpha,,$ parallel kA und $f\beta,,$ parallel lB. Diese Visirlinien bezeichnen zugleich die Richtungen, in denen die Netzhautbilder nach aussen projicirt werden. In den Schnittpunkten zusammengehöriger Projectionslinien wird daher das Object ab gesehen: ein stark genähertes und verkleinertes Abbild von AB. Es lässt sich hieraus entnehmen, und der Versuch bestätigt es vollkommen, dass die Verkleinerung um so bedeutender wird, je grösser der gegenseitige Abstand der äusseren Spiegel ist. Da nämlich die Dreiecke $ABL,$ und $ABR,$ den Dreiecken abL und abR einerseits, und die Dreiecke $AL,R,$ und $BL,R,$ den Dreiecken aLR und bLR andrerseits wegen des Parallelismus ihrer Seiten ähnlich sind, so gilt die Proportion $AB : ab = L,R, : LR$.

Verringert man die Neigung der mittleren Spiegel cd und ef, so dass sie einen Winkel von weniger als 90 Grad mit einander bilden, und stellt die äusseren Spiegel wieder parallel den mittleren, so ist man im Stande, auch nähere Objecte zu beobachten, die denn in noch höherem Grade verkleinert erscheinen, weil auf diese Weise die eingebildeten Standpunkte der Augen noch stärker auseinander gerückt werden. Das in der Nähe befindliche Object entwirft nämlich vermittelst des Tele-

stereoskops wirklich kleinere Netzhautbilder, als wenn es direct betrachtet würde (bei bedeutender Entfernung des Objects fällt dies wenig in Betracht, weil im Verhältniss dazu der Abstand der äusseren Spiegel sehr gering ist); denn der Gesichtswinkel, unter welchem es jedem Auge erscheint, entspricht einer Entfernung, welche gleich ist dem Abstand des Objects vom äusseren Spiegel, plus dem Abstand des äusseren Spiegels vom mittleren, plus dem Abstand des mittleren Spiegels vom Kreuzungspunkte der Visirlinien des Auges. — Zu der wirklichen Abnahme der Netzhautbildgrösse kommt dann noch die Verkleinerung, welche durch den Unterschied des wirklichen Standes der Augen der durch das Instrument bedingten Beobachtungsorte bewirkt wird. In Summa ist hier also die Verkleinerung noch stärker, als bei Beobachtung ferner Gegenstände.

Wenn man die mittleren Spiegel unter einem rechten Winkel zusammenstossen lässt, aber den Parallelismus der äusseren Spiegel mit den mittleren aufhebt, indem die ersteren eine Stellung erhalten, wie sie in der Fig. 20 Taf. IV angedeutet ist, so findet wiederum Verkleinerung statt, die jedoch nicht so bedeutend ist, wie im vorigen Falle. Daneben aber bemerkt man ein unverhältnissmässig starkes Relief, alle Tiefendimensionen sind im Vergleich zu den übrigen Grössenverhältnissen zu gross, wodurch das ganze Bild etwas Verzerrtes und Unnatürliches erhält. — In der Fig. 20 Taf. IV ist für einen solchen Fall der gedachte Gang der Visirlinien mit der zweimaligen Reflexion angedeutet. *a b c d* bedeute ein in ziemlicher Nähe befindliches Object in horizontalem Durchschnitt, so dass *c d* die Dimension der Tiefe darstelle. Die mittleren Spiegel *e f* und *g h* bilden mit ihren Flächen einen Winkel von 90 Grad, die äusseren dagegen *k i* und *l m* in ihrer Verlängerung einen etwas kleineren Winkel. Die Construction des Bildes *a,b,c,d,*, welches durch Schneidung der entsprechenden Projectionslinien entsteht, lehrt, und eine einfache geometrische Betrachtung, die ich, da der Anblick der Construction sie sogleich ergiebt, hier nicht weiter ausführen will, beweist, dass die Verkleinerung nicht so bedeutend ist als im vorigen Falle, dass ferner die Tiefendimensionen alle viel zu gross erscheinen im Verhältniss zu der sonstigen Grösse des Bildes. Der Eindruck des übertriebenen Reliefs hat also seinen Grund in der falschen räumlichen Construction des Bildes.

Weiter lässt sich leicht beweisen, dass, sobald Parallelismus der äusseren und mittleren Spiegel stattfindet, wie in Fig. 19 Taf. IV, das wahrgenommene körperliche Miniaturbild dem Originale in allen Stücken ähnlich ist; dass das Relief und überhaupt die Construction des Bildes im Raum durchaus richtig und den natürlichen Verhältnissen entsprechend ist. Die Aufhebung des Parallelismus der Spiegel hat jedesmal Veränderung des Reliefs zur Folge. Convergiren die Spiegelflächen derselben Seite, wie in Fig. 20 Taf. IV, in der Weise, dass die Spitze des

Convergenzwinkels vor der Angesichtsfläche liegt, so ist das Relief zu stark, liegt dagegen die Spitze des Convergenzwinkels im Rücken des Beobachters, so ist das Relief zu schwach; die Objecte scheinen von vorn nach hinten zusammengedrückt, abgeplattet.

Es lässt sich also folgende Regel aufstellen: Damit die Gestalt des Bildes mit der des Originals vollkommen übereinstimme, damit alle Grössenverhältnisse beider in derselben Proportion stehen, muss die Entfernung, in welche das wahrgenommene Bild verlegt wird, eine ganz bestimmte sein. Es müssen sich die Entfernungen des Objects vom Auge und des Bildes vom Auge verhalten, wie die künstlich verlängerte Grundlinie zur wirklichen Grundlinie. Ist die Entfernung, in welche das wahrgenommene Bild verlegt wird, grösser als diese Proportion erfordert, so ist das Relief übertrieben, anderenfalls zu gering.

Diese Regel ist der Anwendung auch für andere Verhältnisse fähig, nicht auf das Telestereoskop beschränkt. Es geht aus derselben hervor, dass alle Bilder, welche zu stereoskopischer Vereinigung dienen sollen, von ganz bestimmten Standpunkten aus aufgenommen werden müssen, wenn man nicht Zerrbilder sehen will, zwar körperliche Bilder, aber in unnatürlichen relativen Dimensionen, welche mit dem Original nicht übereinstimmen. Die Nichtkenntniss und Nichtbefolgung dieser wichtigen Regel macht denn auch, dass häufig genug unter den käuflichen stereoskopischen Bildern solche gefunden werden, welche ganz unrichtige und unschöne Combinationsbilder liefern. Dahingegen glaube ich, dass ein strenges Festhalten an der Regel viel treuere und lebendigere Resultate geben müsste, als wenn die Wahl der Standorte für den Zeichner und Photographen aufs Gerathewohl und nach Gutdünken geschieht. Insbesondere ist es für nähere Gegenstände, Gebäude, Statuen u. dergl. nothwendig, die Augenpunkte mit Sorgfalt und Accuratesse zu berechnen; denn während für grosse Ferne (Landschaften) für fehlerhafte Standpunkte nicht leicht ein anderer Nachtheil als Abschwächung des körperlichen Effects entstehen wird, so ist für nahe Objecte die unangenehmste Entstellung die unausbleibliche Folge. Um sich von der Wirkung der Fehler in der Wahl der Standpunkte auf bequeme Weise zu überzeugen, würden photographische Abbildungen eines Erd- oder Himmelsglobus geeignet sein. Sind zwei perspectivische Ansichten desselben von Punkten aus aufgenommen, deren Abstand zu gross ist, so würde man im stereospischen Bilde eine von vorn nach hinten zusammengedrückte Kugel sehen. Sind die Standorte zu nahe an einander gewählt, so müsste der Globus in der Richtung von vorn nach hinten verlängert, auseinander gezogen erscheinen. Eine richtige Kugel kann das Stereoskop nur dann zeigen, wenn die Einzelbilder auf den genau angemessenen Augenpunkten bezogen sind.

Der einfachste Fall für die Wahl des Standpunktes für die Herstellung der zur stereoskopischen Combination bestimmten perspectivischen Bilder ist der, dass das Object als wirklich in der Entfernung befindlich gedacht wird, in der wir das stereoskopische Bild sehen; also etwa in 8 Zoll Abstand vom Auge. Dann müssen die Einzelbilder so beschaffen sein, als wären sie aus 8 Zoll Entfernung von zwei Standpunkten aus gezeichnet, deren gegenseitiger Abstand $2^1/_2$ Zoll beträgt. Ist hingegen das Object ferner, beispielsweise 8 Fuss von dem Zeichner entfernt, so muss unter gleichen Umständen der Abstand der beiden Augenpunkte $12 \times 2^1/_2$ Zoll $= 2^1/_2$ Fuss betragen. Der normale Abstand der Augenpunkte für landschaftliche Objecte von einer halben Meile Entfernung müsste — falls die Projection des Netzhautbildes in eine Entfernung von einem Fuss erfolgt — betragen $\frac{2^1/_2 \times 12000}{8} = 3750$ Fuss. Alsdann müsste man ein Miniaturmodell der Landschaft in ihren natürlichen Verhältnissen mit dem Stereoskop sehen. — Es versteht sich, dass nach der Einrichtung des angewandten Instruments die Entfernung, in welche die Projection erfolgt, verschieden ist, und dass daher dieser Umstand bei der Berechnung berücksichtigt werden muss.

Noch manche andere Erscheinungen des Binocularsehens finden in diesen Verhältnissen ihre Erklärung. So erwähnt Helmholtz *) die unrichtige Wahrnehmung der Tiefendistanzen bei der Benutzung doppelter Operngläser. Hier wächst durch die Fernrohrvergrösserung die Grösse der Netzhautbilder, aber da die Tiefendistanzen keine entsprechende Vergrösserung erfahren, vielmehr die perspectivischen Verschiedenheiten beider Netzhautbilder wegen des unveränderten Standpunktes der Augen dieselben bleiben, so erscheinen in dem vergrösserten, näher gerückten Bilde alle Tiefendimensionen zu gering. Das Relief ist ungenügend. Menschliche Gesichter, mit doppelten Operngläsern betrachtet, erscheinen, wie Helmholtz bemerkt, platter als sie sind, und im Profil gesehen, erscheinen sie zu schmal und spitz, was oft unangenehm genug auffällt. Der Charakter einer Physiognomie kann durch diesen, dem Instrument anklebenden Fehler zuweilen gänzlich verwischt werden. Damit der Eindruck ein naturgetreuer wäre, müssten nach der vorhin aufgestellten Regel entweder unter Beibehaltung der Netzhautbilder die Standpunkte der Augen näher an einander gerückt werden — oder unter Beibehaltung der Standpunkte müsste den Bildern eine stärkere perspectivische Verschiedenheit gegeben werden. Erstere Forderung ist ihrer Natur nach unerfüllbar; der letzteren würde durch die Verbindung des doppelten Galileischen Fernrohrs mit dem Telestereoskop nur unvollkommen Genüge geschehen, weil der Fehler immer nur für eine einzige Entfernung genau corrigirt werden würde.

*) l. c. p. 173.

Ich glaube, im Vorstehenden sämmtliche mir bekannten, auf die Tiefenwahrnehmung bezüglichen stereoskopischen Erscheinungen von einem einheitlichen Gesichtspunkte aus erklärt zu haben, ohne der Identitätslehre zu bedürfen. Um im Zusammenhange zu bleiben, habe ich der abweichenden Ansichten der neuesten Autoren sehr wenig Erwähnung gethan, in der Meinung, dass eine richtigere Erklärung die unrichtige beseitigt, auch wenn sie nicht gerade darauf gerichtet ist, den Wortlaut der letzteren zu widerlegen. Für einige wichtigere Beispiele hole ich hier das Versäumte nach.

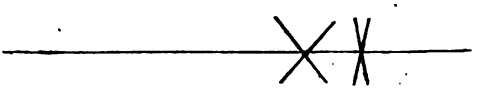
Volkmann's elfter Versuch*) wird von ihm selbst als eine Hauptstütze seiner Theorie angesehen, daher ich denselben hier anführe. Auf einer Horizontallinie werden vier Punkte notirt, von denen zwei für das linke Sehfeld bestimmte eine gegenseitige Distanz von 4 mm., zwei für das rechte Sehfeld bestimmte eine Distanz von 4. 75 mm. haben. Nachdem man sich von der stereoskopischen Deckung dieser ungleich distanten Punkte überzeugt hat, zieht man kleine scharfe Linien durch die Punkte, wie die Figur es angiebt.

Fig. 32.

Die schwachgeneigten Linien bilden mit einer imaginären senkrechten Winkel von etwa 2°, die stark geneigte Linie Winkel von 45°. Dieser grosse Unterschied in der Neigung bewirkt, dass die beiden ersten Linien unter dem Stereoskop vollständig verschmelzen, während die letzteren nicht verschmelzen, sondern ein Kreuz darstellen.

Volkmann hält den Versuch für vorzugsweise wichtig, weil zwischen dem, was wahrgenommen wird, und dem, was nach der Lehre von den identischen Netzhautpunkten wahrgenommen werden soll, eine nahezu vollständige Uebereinstimmung stattfinde. Will man nämlich wissen, welche Erscheinung im Gesichtsfelde auftrete, wenn in jedem der beiden Augen ein Bild gegeben ist, so brauche man sich nur vorzustellen, die Netzhäute beider Augen seien zu einer einzigen verschmolzen und beide Bilder hätten auf der vereinten Netzhaut eine Lage, welche derjenigen, die sie in den gesonderten Netzhäuten einnehmen, Punkt für Punkt correspondire. Hiernach müsste das Verschmelzungsbild das in der Fig. 33 dargestellte sein.

Fig. 33.



*) l. c. p. 28.

So, meint Volkmann, werde auch das Sammelbild wahrgenommen, nur dass die schwachgeneigten Linien sich decken und zu einer Senkrechten verschmelzen. Die Kreuzungspunkte der beiden stark geneigten Linien befinden sich über der horizontalen. Vorweg bemerke ich, dass diese Angaben weder vollständig noch genau sind. Für besonders wichtig hält Volkmann das Nichtverschmelzen der notirten Punkte auf der horizontalen, während sie bei Abwesenheit der Linien sehr leicht verschmelzen. „Die Seele kann diesmal über den Unterschied der differenten Punkte auf der horizontalen nicht hinwegschlüpfen, indem ein neu eintretendes Phänomen sie mit Nachdruck auf denselben hinweist. Die beiden Schiefen kreuzen sich nämlich oberhalb der horizontalen, können sich also nicht gleichzeitig in der horizontalen kreuzen; folglich können sich die beiden Schnittpunkte mit der horizontalen nicht decken. Die Seele unterscheidet jetzt die früher übersehene differente Lage dieser Punkte, weil sie durch die Schneidung der Linien eine nachdrückliche Mahnung erhält, es mit dem Betrachten genauer zu nehmen als in dem Falle, wo sie beide Punkte identificirte.“ Eine psychische Thätigkeit also, die Aufmerksamkeit soll es sein, die das Verschmelzen hindert und deren Mangel im ersten Fall die Verschmelzung möglich macht.

Die hierin meines Erachtens enthaltenen Irrthümer beruhen zunächst auf ungenauer Beobachtung. Zwei ungleiche Punktpaare werden, stereoskopisch verschmolzen, in verschiedene Entfernung verlegt; ein sicheres Zeichen, dass dem Unterschiede in dem gegenseitigen Abstande Rechnung getragen wird, und von Vernachlässigung, Unaufmerksamkeit keine Rede sein kann. — Der Grund nun, weshalb nach Ziehung der schiefen Linien die Punktpaare nicht mehr verschmelzen, ist zwar in letzter Instanz ein psychischer, aber nicht der von Volkmann angegebene. Um dies zu zeigen, muss die Beobachtung berichtigt werden. Die schwach geneigten Linien der Figur verschmelzen zu einer Linie, welche ziemlich stark von oben und vorn nach unten und hinten geneigt ist; die stark geneigten, sich kreuzenden Linien haben aber gar keine constante Stellung im Sammelbilde: sie rücken einander bald näher, bald ferner, kreuzen sich bald über, bald unter der Horizontallinie, während die Verschmelzungslinie der schwach geneigten Linie unverändert bleibt. Wie schlecht dies zu Volkmann's Theorie stimmt, so ist es doch ohne dieselbe leicht verständlich. Der Neigungsunterschied von 2×45 oder 90^0 ist viel zu gross, um eine stereoskopische Combination zu gestatten. Eine Linie im Raume, deren perspectivische Bilder jene stark geneigten Linien wären, wie sie also im Verschmelzungsbilde auftreten müssten, würde ausserordentlich stark gegen die Bildfläche geneigt sein, ihre einzelnen Punkte würden sich in sehr ungleicher Entfernung vom Auge befinden. Aus vielfältigen Versuchen geht nun hervor, dass die Projection der Netzhautbilder nicht gern in gar zu verschiedene Fernen erfolgt; es müsste

dies denn durch den Zusammenhang des Bildes erleichtert werden. Einfache Contouren werden lieber gesondert gesehen als in einer ungewöhnlichen, gezwungenen Stellung sich deckend. Bleiben demzufolge im vorliegenden Falle die stark geneigten Linien unverändert, so werden sie in die Ebene des Papiers (oder genauer in die Projectionssphäre jedes Auges) verlegt. Wo sie sich im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde zu schneiden scheinen, hängt von der Stellung des Auges ab, und es wird hierin eine Aenderung eintreten müssen, sobald die Function geändert wird, sobald z. B. ein näherer oder ein fernerer Punkt der Verschmelzungslinien der beiden weniger schiefen Linien fixirt wird. — Die höhere psychische Thätigkeit, die sich in dem ganzen Vorgange äussert, dürfte nur darin zu suchen sein, dass gewissermassen eine Beurtheilung der Bilder, ein Ueberblick über dieselben stattfindet. Die Linien werden als ein Ganzes betrachtet und daher nur im Ganzen entweder vereinigt oder nicht vereinigt. Befänden sich neben den schwach geneigten Linien nur zwei Punkte auf der Horizontallinie, so würden diese verschmelzen und in die erforderliche Entfernung verlegt werden; gehen aber Linien durch diese Punkte, so werden diese als Ganzes aufgefasst, und nur dann erfolgt Verschmelzung, wenn die ganzen Linien verschmelzen können.

Die sehr exacten Untersuchungen, welche Volkmann „über die Neigung differenter Netzhautpunkte, statt räumlich getrennter Erscheinungen einfache Bilder hervorzurufen“ und über den Einfluss, den die gegenseitige Lage der Punkte auf diese Neigung übt, stimmen in ihren factischen Ergebnissen mit den von mir oben gegebenen Resultaten fast vollständig überein: ohne dass ich jedoch mit Volkmann's Deutung überall einverstanden sein kann. Einige Differenzpunkte hebe ich hier heraus. — Volkmann findet*), dass der Werth der Grenzdistanz (so nennt er den Maximalwerth des ohne Schaden für die stereoskopische Vereinigung zulässigen Unterschieds in beiden Bildern) „in der Richtung der Horizontalen ein sehr veränderlicher ist und mit der horizontalen Ausdehnung der den Gesichtsfeldern gebotenen differenten Bilder zunimmt.“ Den Grund dieser Veränderlichkeit sucht Volkmann in der Ausbreitung der Bilder auf die Seitentheile des Gesichtsfeldes, wo die Empfindung stumpfer ist. Dies kann ich nicht billigen, weil die Theile des breiteren Bildes successive auf die centralen Netzhautregionen geführt werden können, ohne dass die Verschmelzung darunter leidet. Auch bleiben sehr geringe Abstandsdifferenzen bei sehr schmalen Bildern auf den excentrischen Netzhautparthien unverschmolzen. Der Grund scheint mir vielmehr darin zu liegen, dass es uns bei einfachen Objecten schwer wird, oder unmöglich ist, Bildtheile in beträchtlich verschiedene Ent-

*) l. c. pag. 38.

fernungen zu projiciren, oder so, dass die Ebene des stereoskopischen Bildes unter sehr grossem Winkel gegen die Bildebene geneigt ist.

Auch auf die Winkelverschiedenheiten (verschiedene Neigung gegen eine imaginäre Senkrechte) in den zu verschmelzenden Bildern hat Volkmann seine Untersuchungen ausgedehnt, und die Resultate stimmen ganz mit dem überein, was nach dem Früheren erwartet werden musste: Linien von verschiedener Neigung verschmelzen um so leichter, je weniger sie in ihrer Richtung von der Senkrechten abweichen. Volkmann nimmt, wie mir scheint ohne Grund, daran Anstoss*), dass längere Linien bei gleicher Neigungsdifferenz weniger leicht verschmelzen als kürzere. Wachsen doch die seitlichen Abstände gegen die Enden der Linien hin, und stehen daher der Verschmelzung um so mehr im Wege, je länger die Linien sind. Dass aber, wenn ein Theil zweier Linien nicht verschmelzen kann, die ganzen Linien getrennt bleiben, haben wir schon wiederholt gesehen, und muss dies als eine Aeusserung der Zweckmässigkeit im Sehact betrachtet werden, der eine Beurtheilung des Totaleindrucks des ganzen Bildes zu Grunde liegt.

Wenn Volkmann folgert, dass die Unterschiede der Grenzdistanzen, welche in den verschiedenen Richtungen des Sehfeldes bemerkt werden, nicht als angeboren, sondern als erworben und von gewissen Erfahrungen abhängig zu betrachten sind**), so wird das nicht ohne Weiteres zugegeben werden dürfen! Dass in verticaler Richtung die Grenzdistanz geringer ist als in horizontaler, oder vielmehr in erster fast ganz fehlt, kann nicht als angelernt und erfahren gelten; sondern es liegt in der Natur der Sache, in der geometrischen Wahrheit: dass zwei Linien, um sich zu schneiden, durchaus in einer Ebene liegen müssen. Und man wird doch nicht eine solche transcendentale Wahrheit in die empirische Kenntniss hineinzwängen wollen? Anders als durch Schneidung der Visirlinien ist aber eine Verschmelzung bei binocularem Sehen nicht denkbar, und die complicirten psychologischen Erklärungen Volkmann's***) könnten, selbst wenn sie einen vollständigeren Anschluss an die Thatsache zeigten, dennoch den Mangel an Anschaulichkeit nicht ersetzen.

Beiläufig bemerke ich, dass die Untersuchung der Grenzdistanzen für die stereoskopische Vereinigung ganz gegen Panum's Annahme von Identitätskreisen spricht, Empfindungskreisen auf der Netzhaut, welche mit je einem Punkte der andern Netzhaut eine einfache Wahrnehmung vermitteln können. Schon Volkmann's Zahlenangaben über die Grösse der Grenzdistanzen in horizontaler und verticaler Richtung zeigen, dass die Identitätskreise keine Kreise sein können, sondern höchstens Ellipsen

*) l. c. pag. 58.
**) l. c. pag. 59 seqq.
***) cf. pag. 68 seqq.

mit bedeutend grösserer Queraxe. Meine oben angeführten Untersuchungen beweisen jedoch, dass auch Ellipsen nicht zulässig sind. Es hat sich erwiesen, dass die Verschmelzungsfähigkeit von Punkten, die in verticaler Richtung different sind, bei genauerem Experimentiren mit Anwendung der nöthigen Cautelen sich als sehr gering herausstellt. Wenn man die muskuläre Verschiebung des ganzen Sehfeldes von oben nach unten oder durch Rotation um einen imaginären Mittelpunkt in Abzug bringt, indem dieser Vorgang offenbar ganz anderer Art ist als der gewöhnliche Verschmelzungsact, so wird die Verschmelzungsfähigkeit beinahe auf Null reducirt, und die Panum'schen Identitätskreise müssten zu Ellipsen zusammenschrumpfen, deren verticale Axe gleich Null ist, d. h. sie würden zu geraden Linien von horizontaler Richtung werden. Aber auch diese geraden Linien sind nichts Constantes. Panum*) bestimmte nach seinen Versuchen die Grenzwerthe der Abstandsdifferenzen für die stereoskopische Verschmelzung auf 3 — 4 mm., und berechnet danach den Durchmesser der Identitätskreise der Netzhaut auf ungefähr 15 Zapfenbreiten. Wird dies auch nur auf horizontale Differenzen bezogen, so beweisen doch Volkmann's und meine Versuche, dass dieser Grenzwerth nicht nur individuell höchst variabel ist, sondern auch für denselben Beobachter für jeden absoluten Werth des Abstandes (d. h. für die Breite des Bildes) verschieden ist. Viel grössere Grenzwerthe erhält man, wenn man complicirte Figuren unter dem Stereoskop verschmilzt, es ist dann leicht, den von Panum angenommenen Werth auf das Doppelte zu erhöhen. — Schon von diesem Standpunkte aus muss Panum's Hypothese als unhaltbar erscheinen, doch liegt ein noch viel entschiedenerer Gegengrund darin, dass die Wahrnehmungen, welche durch verschiedene Theile des seinsollenden Identitätskreises hervorgebracht werden, keineswegs identisch sind, sondern durch die verschiedene Tiefe sich aufs Wesentlichste unterscheiden.

Ein Versuch von grosser Wichtigkeit ist der folgende von Wheatstone angegebene**), den ich mit seinen eigenen Worten anführe, da sich mehrere Missverständnisse und viele Controversen an denselben geknüpft haben. „Wird dem rechten Auge eine verticale und dem linken eine von der Senkrechtheit etwas abweichende Linie in dem Stereoskop geboten, so sieht man eine Linie, deren Endpunkte sich in verschiedenen Entfernungen vor den Augen zu befinden scheinen. Es werde nun auf das Blatt für das linke Auge in der Mitte der schon vorhandenen und

*) l. c. pag. 61.
**) l. c. pag. 30.

geneigten Linien eine schwächere und verticale gezogen, welche der auf dem Blatte für das rechte Auge befindlichen Linie in Stellung und Länge genau entspricht. Betrachtet man jetzt die beiden Blätter im Stereoskop, so werden die beiden stärkeren Linien, von denen jede mit einem Auge gesehen wird, sich decken, und die daraus resultirende einfache Linie wird in derselben perspectiven Linie erscheinen als es vorher der Fall war; die schwache Linie aber, welche auf Nervenhautpunkte des linken Auges fällt, welche mit denen des rechten correspondiren, auf welchen sich die starke verticale Linie darstellt, erscheint an einem verschiedenen Orte. Sie nimmt nämlich den Ort ein, wo sich die Ebene der Richtung des Sehens für das linke Auge, in welchem sich die schwache Linie darstellt, mit der Ebene der Richtung des Sehens für das rechte Auge, welches die starke Linie enthält, durchschneidet.“

Fig. 34.

Volkmann erkennt an, dass, wenn Wheatstone's Angabe sich bestätigt, „die Theorie von der Identität der Netzhäute unrettbar verloren ist.“ Er bestreitet aber die Richtigkeit von Wheatstone's Angaben, wobei ein paar Missverständnisse unterlaufen, die ich der Wichtigkeit der Sache halber und weil auch Brücke Aehnliches begegnet zu sein scheint, hier ausführlich berichtige.

Beide Autoren nehmen Anstoss an der allerdings nicht ganz klaren und correcten Ausdrucksweise des letzten Satzes, die möglicherweise nur der Uebersetzung zur Last fällt. Da ich Wheatstone in der Sache vollkommen beistimme, so glaube ich das Missverständniss lösen und die richtige Erklärung geben zu können. Volkmann bestätigt, dass die beiden starken Linien verschmelzen und die dritte isolirt bleibt, aber er läugnet, dass die dritte Linie „an einem verschiedenen Orte erscheine.“ Offenbar ist der hierbei obwaltende Irrthum rein sprachlicher Natur. Volkmann's weitere Auslassungen beweisen, dass er Wheatstone's Worten den Sinn unterlegt: die schwache Linie verändert ihren Ort. Derselbe meint aber und ganz mit Recht: sie erscheine an einem andern Ort als die verticale Linie des rechten Auges; letztere habe ihren Ort wirklich geändert. — Die undeutliche Ortsbestimmung der schwachen

Linie, „wo sich die Ebene der Richtung des Sehens für das linke Auge, in welchem sich die schwache Linie darstellt, mit der Ebene der Richtung des Sehens für das rechte Auge, welches die starke Linie enthält, durchschneidet“ könnte dahin interpretirt werden, dass Wheatstone die Ebenen der verticalen Meridiane im Sinne hatte. Ich vermuthe übrigens, dass der Uebersetzer hier ein Versehen begangen hat, indem er das Relativum beide Male auf „Auge“ bezieht. Würde dasselbe auf „Ebene der Richtung des Sehens“ bezogen, so wäre die Schwierigkeit gelöst und an dem Ausdruck kaum etwas auszusetzen. Zur Sache selbst bemerke ich, dass meinen obigen Versuchen zufolge eine solche nur in einem Netzhautbilde erscheinende Linie nicht in die Ebene des Papiers, sondern in die Projectionssphäre des Auges gesehen wird, was jedoch nur einen geringen Unterschied ausmacht. Die starke stereoskopisch combinirte Linie ragt hingegen aufs Deutlichste mit ihrem oberen Ende nach hinten, mit dem unteren Ende nach vorn aus der Bildebene hervor.

Die theoretische Verwerthung des überaus wichtigen Experiments anlangend, so stimme ich zunächst Volkmann darin bei, dass ausser anderen Gründen die Beobachtung unter dem Tachistoskop das Fallenlassen der Brücke'schen, auf Veränderung der Sehweite beruhenden Erklärung erheischt. Da nun die Lage der rechtseitigen starken und der linksseitigen schwachen Linie gleich ist, da demzufolge beide Bilder auf sogenannte identische Netzhautpunkte treffen, da nichtsdestoweniger die starke Senkrechte nicht mit der schwachen Senkrechten verschmilzt, sondern mit der different liegenden, ihr an Dicke gleichkommenden Linie, so ist der Fall eingetreten, wo, nach Volkmann's Bekenntniss, die Identitätstheorie rettungslos verloren ist, da „gleiche Bilder, welche auf correspondirende Netzhautbilder fallen, doppelt und an verschiedenen Orten erscheinen.“ Die schwache senkrechte erscheint in ihrer natürlichen Lage, dagegen die starke ist offenbar dislocirt.

Zwei Einwürfen will ich noch begegnen, welche möglicherweise erhoben werden könnten. Der erste, dass die Bilder nicht revera gleich sind, sondern eine Linie schwach, die andere stark, ist eigentlich einer Widerlegung kaum werth; diese wird aber vollständig darin gegeben sein, dass eine starke und eine schwache Senkrechte, wenn sie allein da sind und nicht durch Dazwischenkunft der Schiefen gestört werden, sofort verschmelzen. Der andere, auf dem Boden der Identität zu erhebende Einwurf wäre folgender: Da die starken Linien eine grosse Tendenz haben, in einander überzugehen, so vollführt das rechte Auge eine Rotation um die Sehaxe nach links, so dass nun nicht mehr das Bild der Senkrechten auf Stellen trifft, welche mit den von dem Bilde der schwachen Senkrechten getroffenen Punkten der linken Netzhaut identisch sind. Aber auch die Zurückweisung einer solchen Ansicht ist nicht schwer;

denn einmal ist, wenn der Versuch ohne Stereoskop ausgeführt wird, eine Rotation nicht zu constatiren, sondern man geleitet die Bilder in die Mitte des gemeinsamen Gesichtsfeldes an ihren Bestimmungsort und sieht dann die Verschmelzungslinie plötzlich aus der Ebene heraustreten; sodann lehrt die Hinzufügung zweier seitlichen Linien, oder eines Quadrats wie bei Wheatstone, dass das Gesichtsfeld nicht verschoben wird; endlich beweist das Heraustreten der Verschmelzungslinien aus der Bildebene, dass jene Hypothese unrichtig wäre. Geschähe eine Rotation des Auges wie in einem früher beschriebenen Versuche, so würde das Verschmelzungsbild in der Ebene des Papiers bleiben müssen. — Ich brauche wohl kaum hinzuzufügen, dass der Versuch in allen Punkten aufs Vollständigste die von mir aufgestellten Principien bestätigt.

Was Volkmann über noch andere Möglichkeiten des stereoskopischen Effects sagt*), dass nämlich auch die beiden Senkrechten combinirt werden können, billige ich vollkommen; ich sehe zuweilen sogar eine gebrochene starke Linie, in welchem Falle sich dann auch das Tiefenverhältniss entsprechend abändert. — Im weiteren Texte der Volkmann'schen Arbeit folgen übrigens noch weitere Ausführungen über das in Rede stehende Experiment, die ich jedoch durch das Gesagte für erledigt halte und daher bei Seite lasse, um die Discussion nicht zu sehr auszudehnen.

Ich habe den Wheatstone'schen Versuch, da er doch einmal Missdeutung erfahren hat, in eine Form zu bringen gesucht, die einen unanfechtbaren Beweis gegen die Identität liefert, die in aller Strenge zeigt, dass zwei Bilder, welche auf die Stelle des directen Sehens fallen, doppelt gesehen werden können.

Fig. 25.

In diesen Figuren sind alle schwachen Linien vollkommen congruent, die starken aber nicht. Stereoskopisch sieht man die aus schwachen Linien bestehende Figur in der Ebene des Papiers liegen. Die starken aber, wie die Spitze eines Octaeders nach hinten hervorragen. Obgleich die Mittelpunkte des schrägen Kreuzes links und des geraden rechts auf sogenannte identische Netzhautpunkte fallen, und zwar, wenn man sie fixirt, auf die Stellen des

*) l. c. pag. 74.

directen Sehens, so werden sie dennoch an verschiedenen Orten gesehen, der letztere in der Ebene des Papiers, der erstere weit hinter dieser Ebene und etwas zur rechten Seite: ein Resultat, das sich durch die Identitätslehre in keiner Weise erklären lässt.

Viertes Capitel.

Historischer Rückblick auf die Ansichten über Tiefenwahrnehmung.

Dass die körperliche Wahrnehmung mittels des Gesichtssinnes und das Beurtheilen der Entfernung ein ganz specifisches Vermögen sei, welches in der Duplicität des peripherischen Sehorgans seinen nächsten und wichtigsten Grund hat, ist erst spät erkannt worden. Leonardo da Vinci soll der Erste gewesen sein, der dem Einfluss des Binocularsehens auf die Tiefenwahrnehmung einen Ausdruck gegeben hat. Er erkannte, dass ein Gemälde, so vollkommen es in Zeichnung und Ausführung auch sei, beim Betrachten mit beiden Augen niemals den Eindruck der Plasticität hervorbringen könne, während eine wirkliche Illusion, eine deutliche Vorstellung von dem natürlichen Vor- und Zurücktreten, von Erhabenheit und Vertiefung sehr wohl beim Betrachten mit einem Auge von dem richtigen Standpunkte aus erfolgen könne. Den Grund davon, den noch Bacon wegen der Erweiterung der Pupille beim Sehen mit einem Auge in einem Concentriren des Spiritus vitalis auf das eine Auge suchte, schreibt der berühmte Maler dem zu, was er die Durchsichtigkeit des Gegenstandes nennt, und was der Maler nicht wiedergeben könne. Er meint damit, gewisse Dinge, welche dem einen Auge durch ein Object verdeckt werden, seien dem zweiten Auge sichtbar, indess dem zweiten wieder ein Theil des Hintergrundes verborgen bleibe, welcher von dem ersten gesehen werde. Bei gleichzeitigem Betrachten eines nahen Objects mit beiden Augen bleibe also nur ein kleiner hinter dem Auge befindlicher Raum der Beobachtung ganz entzogen. Diese Erscheinung sei unmöglich in der Fläche darzustellen. Obgleich Leonardo da Vinci so die verschiedenen Standpunkte beider Augen ganz richtig als Ursache des körperlichen Sehens erkannte, so sprach er doch den eigentlich in seiner Ansicht schon enthaltenen Gedanken, dass die beiden Augen verschiedene Bilder erhalten, nicht deutlich aus. Diese Thatsache scharf hingestellt zu haben, ist das Verdienst Wheatstone's, des Erfinders des Stereoskops. Er fand den Satz, dass nicht zu ferne körper-

liche Objecte jedem Auge eine verschiedene perspectivische Ansicht darbieten, und dass die Ausdehnung des Objects nach allen Dimensionen des Raums durch die Verschiedenheit der Netzhautbilder wahrgenommen werde. Er ging aber bei seinen übrigens vortrefflichen Untersuchungen rein experimentell zu Werke und vermochte die Art des Zusammenwirkens des Bildes nicht zu erklären; er hält den Gegenstand für „höchst complicirt" und giebt eigentlich gar keine Erklärung der von ihm gefundenen Thatsachen. Die ausserordentliche Einfachheit des obwaltenden Zusammenhangs hatte er noch nicht aus der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen herausgelesen.

Nach ihm haben hauptsächlich drei Autoren den Versuch gemacht die von Wheatstone offen gelassene Lücke auszufüllen: Brücke, sehr bald nach dem Erscheinen der Wheatstone'schen Arbeit, Panum und Volkmann in ganz neuester Zeit. Alle Drei gehen von wesentlich verschiedenen Gesichtspunkten aus und gelangen zu sehr verschiedenen Resultaten.

Brücke, die von Wheatstone angegriffene Identitätstheorie wieder rehabilitirend, behauptet, dass wir beim Betrachten eines körperlichen Objects nur den jedesmaligen Fixirpunkt deutlich sehen: Da uns nur das, was im Horopton liegt, einfach erscheint, so muss alles Uebrige doppelt gesehen werden, was wir nur deshalb nicht immer bemerken, weil der Eindruck der excentrischen Netzhauttheile ein zu undeutlicher ist. Um eine körperliche Wahrnehmung zu gewinnen, müssen wir eine Menge Punkte des angeschauten Objects nacheinander in den Fixirpunkt bringen und die in den verschiedenen Horopteren erhaltenen einfachen Eindrücke sammeln. Der körperliche Eindruck ist also kein einfacher, sondern ein Aggregat verschiedener nach einander gewonnener Eindrücke. Eine mit äusserster Schnelligkeit unwillkürlich vor sich gehende Veränderung der Sehweite und der Fixationsrichtung ist Bedingung der körperlichen Wahrnehmung.

In den Gründen gegen die Brücke'sche Ansicht will ich mich kurz fassen, weil sie von verschiedenen Seiten bereits ausführlich besprochen sind. Abgesehen davon, dass in Bezug auf die Existenz eines Horopters falsche Voraussetzungen zum Grunde liegen, so ist die postulirte Veränderung der Sehweite und der Fixation weder objectiv noch subjectiv wahrzunehmen. Diese blosse Hypothese ist aber vollständig widerlegt worden durch Dove*), der bei Beleuchtung mit dem elektrischen Funken, und durch Volkmann**), der mit dem eigens dazu construirten Tachistoskop stereoskopische Versuche anstellte. Beide fanden, dass trotz

*) Monatsberichte der Berliner Akademie 1841. S. 251.

**) Verh. d. k. sächs. Gesellschaft d. Wissensch. zu Leipzig. Math.-physik. Classe 1859, pag. 91.

der momentanen Dauer der Beleuchtung, welche etwaigen Augenbewegungen keine Zeit liess, doch ein deutlich körperlicher Eindruck erfolgte. Ich füge hinzu, dass gewisse bereits erwähnte stereoskopische Versuche es ausser Zweifel stellen, dass das Getrennt- oder Vereinigtsehen zweier Bilder keineswegs von muskulärer Thätigkeit abhängt. Das momentane Auftreten einfacher körperlicher Wahrnehmung und dem folgende Zurücksinken der getrennten Bilder in die Fläche, ein Spiel, das oft unendlich schnell wechselt, wäre gar nicht zu verstehen, wenn man den Eindrücken einige Dauer zuschreiben und durch Summirung zu einer Wahrnehmung gelangen wollte. Wo im Gegentheil eine muskuläre Thätigkeit wirklich nachweisbar ist, da findet sie keineswegs mit der von Brücke angenommenen Rapidität statt. — Es ist übrigens anzuerkennen, dass in der Brücke'schen Ansicht insofern Wahres liegt, als der Wechsel des Fixationspunktes wie überhaupt die Wahrnehmung der Details des Objects, so auch die der Reliefverhältnisse desselben verdeutlicht. Brücke hat aber darin Unrecht, dass er dieser Thätigkeit eine viel zu grosse Bedeutung beimisst und in ihr das eigentliche Wesen der körperlichen Wahrnehmung zu finden glaubt.

Brücke's immerhin geistreiche Ansicht fand übrigens, zumal sie sich mit der Identitätstheorie zu vertragen schien, sehr allgemeine Beistimmung; Prévost, Brewster und fast alle neueren Autoren haben sich ihm angeschlossen, bis erst vor Kurzem sich Widerspruch erhob.

Panum that in der Erkenntniss des Wesens der körperlichen Wahrnehmung und des Binocularsehens überhaupt einen wichtigen Schritt. Er schlug einen vollkommen richtigen Weg ein, indem er den Empfindungsvorgang, das eigentlich sinnliche Element, sorgfältig zu analysiren und in das, was sonst in Bausch und Bogen dunkelen Seelenvorgängen zugeschrieben wurde, tiefer einzudringen strebte. Ein Hauptverdienst hat Panum um die Untersuchung der Modalitäten, unter denen die Verschmelzung zweier Netzhautbilder zu einem gemeinsamen Bilde erfolgt. Er gewann interessante Aufschlüsse über die Art, wie der Inhalt der beiden Gesichtsfelder auf einander einwirkt. Die Wichtigkeit der dominirenden Contouren für die Augenbewegungen, so wie die bald verstärkende, bald auslöschende Wirkung der Theile des einen Sehfeldes auf solche des andern, ist besonders hervorzuheben. — Im Verfolg des Satzes, dass die eigentliche specifische Tiefenwahrnehmung dem binocularen Sehen zukomme, gelangt Panum zu der alten, schon von Cartesius aufgestellten Annahme, dass die Kreuzungsstellen der den Bildpunkten entsprechenden Projectionslinien den Ort des gesehenen Punktes bestimmen*) und sucht hiernach auch die stereoskopischen Erscheinungen

*) l. c. pag. 78. Panum will dafür einen besonderen Namen einführen: Empfindung der binocularen Parallaxe.

zu erklären und deren Gesetze abzuleiten. Die geometrische Construction indessen, die er zur Erklärung des Sachverhalts giebt, ist in der vorliegenden Form keineswegs geeignet, das Wesen der Sache, den Mechanismus aus der Tiefenwahrnehmung zu veranschaulichen, obgleich nicht zu verkennen ist, dass eine richtige Idee zu Grunde liegt. Dazwischen läuft nun leider immer noch die Identität der Netzhäute (welche noch mit dem Zusatz versehen wird, dass ein Punkt der einen Netzhaut einem Empfindungskreise der andern entspreche) und droht, den gewonnenen Vortheil wieder zu nichte zu machen. Dadurch, dass für die Verschmelzungsmöglichkeit noch ein apartes, sinnliches, ja sogar anatomisches Substrat gesucht wird, verliert das nähere Eindringen in den Mechanismus der Wahrnehmung fast seinen Werth. Nachdem die Gleichung in eine Form gebracht ist, wo die Auflösung kaum mehr Schwierigkeit machen kann, wird nutzloser Weise eine neue unbekannte Grösse eingeführt. Als Grund nämlich der Vereinigung zweier ähnlicher Bilder, welche auf correspondirende Punkte oder Empfindungskreise fallen, will Panum noch „eine ganz eigenthümliche Wechselwirkung der beiderseitigen Nervenerregungen im centralen Sehapparat" annehmen, „eine angeborene specifische Empfindungsweise", und nennt das sogar, wogegen ausdrücklich Verwahrung eingelegt werden muss, „eine specifische Sinnesenergie, die dem Einäugigen abgehe." Dies führt denn consequenter Weise zu der wunderbaren Annahme, „dass jeder empfindende Punkt der centralen Retina (!) für eine bestimmte Augenstellung zwei verschiedene Richtungsempfindungen habe"*), eine Annahme, die Alles wieder in magisches Dunkel verbirgt.

Wie Panum nach der einen, so scheint mir Volkmann nach der entgegengesetzten Seite fehl zu gehen. Ersterer theilt der Sinnlichkeit eine übermässige ungerechtfertigte Bedeutung zu, Letzterer beschränkt sich zu sehr auf das unbestimmte, weite Gebiet der psychischen Thätigkeit. Volkmann sucht die Identitätslehre in voller Integrität wiederherzustellen. Die bei den Versuchen sich ergebenden Widersprüche gegen diese Lehre sollen durch die Seele gehoben werden, durch Thätigkeiten, deren Natur eine so wenig bekannte und bestimmte ist, dass die ganze Theorie mehr ein Durchhauen als ein Lösen des Knotens scheint. Die Aufmerksamkeit, ein Wort, bei dem man sich sehr Verschiedenes denken kann, und der weite Begriff der Erfahrung sollen Alles das erklären, was in die Identitätstheorie nicht hineinpasst. Der Gedankengang Volkmann's ist folgender: Zwar bedinge zunächst nur die Reizung identischer Netzhautpunkte einfache räumliche Wahrnehmung, aber das sei nur die eine Bedingung; die zweite sei die Thätigkeit des Seelenorgans, welche auch bei Erregung differenter Netzhautpunkte Einfachsehen

*) l. c. pag. 91.

veranlassen könne. „Das Vereinfachen von Bildern, welche auf differente Netzhautpunkte fallen, ist ein Seelenact, welcher Erfahrungen über die reale Einheit der Gesichtsobjecte voraussetzt, und zu welchem wir nur durch die Erziehung des Gesichtssinnes befähigt werden.“ Während Volkmann unablässig die Einfachheit des binocularen Eindrucks betont, vernachlässigt er die weiteren Eigenschaften desselben und die Art, wie diese durch die Eigenschaften der Sondereindrücke beider Augen bedingt werden. Das ist die Klippe, an der er scheitert. Die Hauptfehler in Volkmann's Theorie sind ohne Zweifel in dem merkwürdigen Umstande begründet, dass in der ganzen Arbeit über stereoskopische Erscheinungen das eigentlich Wesentliche derselben, nämlich die Tiefenwahrnehmung, ganz und gar nicht berücksichtigt wird; kaum findet sich in der grossen Versuchsreihe eine einzige Andeutung über verschiedene Tiefenabstände der stereoskopischen Bilder. Vermuthlich liegt dem eine ungünstige individuelle Disposition zu solchen Experimenten zu Grunde. Wenigstens stellt sich aus den Tabellen Volkmann's seine Verschmelzungsfähigkeit der gewöhnlichen gegenüber als eine sehr geringe heraus.*) So musste es ihm freilich schwer fallen, die geringen Tiefenunterschiede, welche in seinen Versuchen vorkommen, wahrzunehmen, und ohne dieser Erwähnung zu thun, spricht er stets nur von dem Resultate des Einfachsehens, als beschränke sich die räumliche Deckung allezeit auf die Bildfläche.**) Bei dieser unzureichenden Beobachtung sind die übrigen Schlüsse wohl erklärlich. Volkmann hätte niemals den Gedanken fassen können, die stereoskopische Vereinigung zweier verschieden geneigter Linien liege am ungenügenden Aufmerken der Seele auf die Doppelheit, wenn er mehr auf die Tiefenverhältnisse geachtet und die Beobachtungen Wheatstone's und Panum's berücksichtigt hätte; denn gerade die Beobachtung, dass jede verschiedene Neigung stets eine räumlich verschiedene Wahrnehmung der einfach erscheinenden Linie zur Folge habe, beweist aufs Klarste, dass die Aufmerksamkeit in voller Thätigkeit sei, da sie die Wahrnehmung dieser Verschiedenheiten möglich mache.

Allein noch eine zweite Seelenthätigkeit soll das Einfachsehen zweier Bilder, welche auf differente Netzhautpunkte zu liegen kommen, verursachen, „die Erfahrung, dass beide Bilder nur zufällige doppelte Repräsentanten eines wirklich Einfachen sind“, die Erfahrung, dass die einfachen, bei der Fixirung erhaltenen Bilder der Wirklichkeit entsprechen,

*) Man vergleiche damit die unendlich viel grössere Verschmelzungsfähigkeit, welche Wheatstone nach den Figuren, die seiner Arbeit beigegeben sind, zu urtheilen, besass, und welche der Erfinder des Stereoskops wohl besitzen musste. Brücke kehrt die Sache um und wirft Wheatstone mit Unrecht vor, er könne nicht fixiren.

**) Daher auch die Bemühung, zu beweisen, dass die durch Erregung differenter Netzhautpunkte bedingte Oertlichkeit des Sammelbildes die mittlere ist zwischen den Orten, *welche ohne Verschmelzung* den Einzelbildern zufallen würden. cf. l. c. pag. 79.

während die Doppelbilder der nicht fixirten Punkte eine Täuschung sind, welche der Fehlerhaftigkeit der Augenbewegung zur Last falle. Durch längere Erfahrung gelangt man, nach Volkmann, dahin, die Vorstellung von der Einfachheit der Objecte bis auf einen gewissen Grad auf die Empfindung zu verpflanzen.

Fragen wir: Was kann die Erfahrung für einen Einfluss auf die Wahrnehmung üben? Dass frühere, dem Gedächtniss eingeprägte Vorstellungen eine unvollkommene Wahrnehmung ergänzen und vervollständigen, ist unläugbar. Das betrifft dann aber nur undeutliche und unbestimmte Wahrnehmungen. Gegen eine klare und deutliche Wahrnehmung ist die Vorstellung machtlos. Wir machen oft Wahrnehmungen, die keineswegs erfahrungsgemäss sind, trotz der abweichenden früheren Vorstellungen. Umgekehrt aber wird es sehr schwer sein, Beispiele zu finden, dass die Vorstellung eine deutliche Wahrnehmung geradezu umändert. Endlich müsste die Erfahrung sich eben so gut nach häufiger Wiederholung stereoskopischer Versuche geltend machen und lehren, dass zwei Bilder es sind, welche differente Netzhautstellen treffen, und nicht eins, wie das beim ersten oder zweiten Versuche geglaubt werden könnte. Es ist nicht der geringste Grund einzusehen, weshalb wir trotz aller Aufmerksamkeit, trotz alles bessern Wissens, bei so einfachen Objecten und bei so häufiger Wiederholung der Versuche fortgesetzt dasselbe Resultat erhalten sollten, wenn nicht der Wahrnehmungsvorgang einem ganz bestimmten Gesetze gehorchte, das von dem älteren Vorstellungsvorrath, der Erfahrung, unabhängig ist.

Trotz des Einflusses der psychischen Thätigkeit, die Volkmann behauptet, bestimmt er dennoch die Bedingungen und Regeln, nach denen Einfachsehen erfolgt, mit grosser Genauigkeit. Wenn für jede Richtung in der die erregten Netzhautstellen different sind, besondere Maximalwerthe für die Möglichkeit der Vereinigung existiren, Werthe, die, tabellarisch zusammengestellt, die grösste Regelmässigkeit bekunden, so lässt sich doch nimmermehr annehmen, dass ältere Vorstellungsreihen einen so ausgebildeten, nach Graden und Millimetern fortschreitenden Schematismus geschaffen haben. Man wird sich vielmehr der Vermuthung nicht entziehen können, dass jene Tabellen und Zahlen der Ausdruck eines Gesetzes sind, das über allen zufälligen psychischen Einflüssen steht.

Oben habe ich versucht, die Volkmann'sche psychologische Theorie an einigen Versuchen, welche Volkmann selbst für die beweisendsten hält, speciell zu widerlegen, um so mehr, als die scheinbare Einfachheit und Natürlichkeit derselben, verbunden mit der Schönheit und Abrundung der Darstellung, gewiss dieser Theorie zahlreiche Anhänger erworben haben wird. Ich will mich übrigens gegen den Vorwurf verwahren, als läugnete ich den Einfluss der psychischen Thätigkeit auf das Sehen, den ich im Gegentheil, wie man später sehen wird, für sehr gross und äusserst

wichtig halte — nur ist es mein Bestreben, die einfache Gesichtswahrnehmung zu allererst von aller Beimischung durch zufällige Seelenthätigkeit zu isoliren.

Auch v. Hasner erhebt sich zu Gunsten der Identitätslehre gegen Panum's Identitätskreise, und seiner Erklärung der stereoskopischen Phänomene. Die Art, wie v. Hasner den stereoskopischen Grundversuch mit ungleich distanten parallelen Linienpaaren durch einen „höheren Act des Sehsinns" erklärt*), ist mir zu wenig klar geworden, als dass ich darüber referiren könnte.

Zuletzt hat v. Recklingshausen**) sich über Körperlichsehen und Tiefenwahrnehmung verbreitet. Auf meist bekannte Erscheinungen sich stützend, bekennt er sich ganz zu Brücke's Theorie, ohne die gegen dieselbe, namentlich von Panum vorgebrachten Einwände zu widerlegen und ohne wesentlich neue Beweise für dieselbe beizubringen. v. Recklingshausen will der Perspective, über die er sehr räthselhafte Aeusserungen macht, einen besonders wichtigen Antheil an der Tiefenbestimmung zu theilen***). Dass er die Wirkung und das Wesen derselben ganz unrichtig beurtheilt, beweist das Paradoxon, zu dem er gelangt, dass das binoculare Sehen dem körperlichen Effect sogar schade, ein Auge gebe einen reineren Effect! Dem Missverständniss liegt eine vollständige Verwechselung der körperlichen Wahrnehmung mit der aus der Betrachtung einer perspectivischen Zeichnung in der Ebene gewonnenen Vorstellung der Körperlichkeit zu Grunde.

Fünftes Capitel.

Doppeltsehen mit zwei Augen.

Ich gehe zu einer zweiten Gruppe von Erscheinungen des binocularen Sehens über. Bisher wurden Fälle betrachtet, wo durch zwei verschiedene Netzhautbilder eine einfache Wahrnehmung hervorgebracht wurde, welcher, als Zeichen der Vereinigung, das Attribut der Körperlichkeit zukam. Dieselben Gesetze der Projection, welche für die Wahrnehmung der uns umgebenden körperlichen Objecte galten, erwiesen sich auch als anwendbar, wenn die Netzhautbilder nicht von wirklichen körperlichen Objecten herrührten, sondern nur gewissen, zunächst der Beobachtung entnommenen Gesetzen genügten. Die Vereinigung zweier Netzhautbilder

*) l. c. pag. 7.
**) l. c. pag. 147.
***) l. c. pag. 163 — 168.

zu einer einfach körperlichen Wahrnehmung involvirte im letzteren Falle eine Gesichtstäuschung. Eine andere Art von Gesichtstäuschungen entsteht, wenn Netzhautbilder, die in Wirklichkeit zusammengehören, d. h. von einem einfach vorhandenen Objecte stammen, nicht zu einer einfachen Wahrnehmung vereinigt werden — die Phänomene des binocularen Doppeltsehens. In diesem Theile der Physiologie und Pathologie des Sehens hat die Identitätslehre bis diesen Augenblick eine vorzüglich allgemeine, meines Wissens noch niemals angefochtene Geltung und übt hier einen besonders nachtheiligen Einfluss aus, den zu beseitigen mir von Wichtigkeit zu sein scheint.

Es liegt nicht in meinem Plane, hier ausführlich auf die Geschichte der Lehre vom Doppeltsehen einzugehen, wie überhaupt die nachfolgenden Bemerkungen den Charakter des Vorläufigen und Vorbereitenden tragen sollen. Ich habe zunächst nur die Absicht, im Allgemeinen die Unzulänglichkeit der gegenwärtig herrschenden Ansichten über das Doppeltsehen und diesen gegenüber die Anwendbarkeit der von mir aufgestellten Principien auch in diesem Theile der Physiologie des Sehens darzuthun.

Der gegenwärtige Zustand der Lehre vom Doppeltsehen lässt sich mit wenigen Worten folgendermassen bezeichnen: Die Theorie, wie sie theils schon vor J. Müller galt, theils durch diesen berühmten Forscher befestigt und ausgeführt wurde, steht noch jetzt in fast allgemeiner Anerkennung. Hiernach soll jeder Punkt, der sich nicht auf identischen Netzhautstellen abbildet, doppelt erscheinen. Da aber kein Punkt, der nicht im Horopter liegt (mag man darunter nun eine Fläche oder Linie verstehen), sich auf identischen Netzhautstellen abbilde, so könne nur der bei weitem geringste Theil der Punkte des Sehfeldes einfach erscheinen. Nur die Vernachlässigung der Doppelbilder aus theils sinnlichen, theils psychischen Gründen erklärt es, dass wir nicht fortwährend Erscheinungen des Doppeltsehens haben. Die Distanzen der Doppelbilder im Sehfelde sollen sich verhalten wie die Abstände des differenten Punktes der Retina von dem identischen. Diese seit J. Müller allgemein angenommene Theorie hat wesentliche Zusätze in neuerer Zeit durch Georg Meissner erfahren, der eine Anzahl interessanter Phänomene des Doppeltsehens genauerer Untersuchung unterworfen und zu einer ganz neuen Horopterlehre und einer neuen Lehre von den Augenbewegungen verwerthete. Auf einen Theil dieser Neuerungen komme ich noch im Einzelnen zurück. Hier führe ich nur historisch an, dass Meissner's Theorie in den letzten Jahren vielfache Zustimmung erhalten und Eingang in die neuesten und besten Lehrbücher gefunden hat. (Ludwig, Funke, Pilz). Ein Versuch, die Meissner'schen Resultate in einigen Punkten umzustossen, ist neuerdings von Claparède gemacht worden. Abweichende Ansichten, aber ohne den Versuch einer Widerlegung Meissner's sind jüngst noch von v. Recklingshausen aufgestellt worden.

Noch einige Worte widme ich der bisherigen Behandlung der Hauptfrage nach dem Orte der Doppelbilder.

Wie es scheint, hat man bisher ziemlich allgemein den Fehler begangen, von vorn herein anzunehmen, es gebe für beide Augen eine gemeinsame Fläche, in welche die Bilder verlegt werden. Man ging nicht vom monocularen Sehen aus, während doch das Doppeltsehen, mindestens das physiologische, nichts ist als ein doppelt-monoculares Sehen, ein Nebeneinanderstehen beider Sondereindrücke, ohne dass dieselben auf einander einwirken, zusammen wirken, und dadurch einfache viel vollkommenere Wahrnehmungen erzeugen.

Aguilonius meinte, jeder sichtbare Gegenstand des Sehfeldes habe seinen scheinbaren Ort in einer durch den Fixirpunkt gelegten, der Angesichtsfläche parallelen Ebene. Diese Ebene, quae visum finit ac terminat, belegt er mit dem Namen Horopter (Grenze des Sehens, ὁρος die Grenze). Dieselbe ist gewissermassen die zur perspectivischen Zeichnung aufgestellte Tafel des Malers, auf der die Zeichnung von zwei Augenpunkten aus eingetragen wird, so dass mit Ausnahme dessen, was etwa in der Tafel selbst liegt, Alles doppelt gezeichnet erscheint. Um dem menschlichen Geiste die schwere Aufgabe der Orientirung in diesem Wirrwarr zu erleichtern, wollte Aguilonius allen excentrischen Eindrücken eine noch viel geringere Deutlichkeit beimessen, als sie wirklich besitzen. Seine Nachfolger halfen sich meist mit der Annahme, dass nur ein Bild zur Wahrnehmung gelange (welches?), das andere unterdrückt werde. Man war schnell mit der Regel bei der Hand, alle Objecte jenseits des Horopters liefern gleichnamige, alle diesseitigen Objecte gekreuzte Doppelbilder. Gewiss ist die Regel für die Ebene des Aguilonius eben so richtig wie für jede beliebige, ebene oder gekrümmte Fläche, auf die man die Bilder projiciren will. Es fragt sich nur, ob die Projection in diese oder jene Fläche wirklich stattfindet, ob sie überhaupt in eine Fläche stattfindet, und diese Frage hat immer nur ungenügende Erörterung gefunden. Seit die Lehre vom Einfach- und Doppeltsehen durch den Satz von der Identität der Netzhäute eine ausschliesslich theoretische Färbung erhalten hatte, musste man die Horopterebene des Aguilonius aufgeben, und die Theorie führte mit Hülfe mathematischer Irrthümer zur Annahme einer cylinderförmigen, kugelförmigen oder noch anders gekrümmten Horopterfläche. Consequenter Weise musste die Horopterfläche als Ort des Doppelbildes betrachtet werden, doch behielten Manche nichtsdestoweniger die der Angesichtsfläche parallele Ebene für die Localisation bei und wollten nach der Lage eines Objects vor oder hinter derselben entscheiden, ob die Doppelbilder gleichnamig oder gekreuzt sein müssten. Dies war um so mehr nöthig, wenn man, von richtiger mathematischer Betrachtung ausgehend, den Horopter (als Inbegriff der Schnittpunkte der Projectionslinien identischer

Netzhautpunkte) auf eine verticale Gerade und einen horizontalen Kreis reducirte, was natürlich für die Localisation der Doppelbilder nicht genügen konnte. — Bei manchen Physiologen, so vor Allem bei J. Müller*) trat der Frage nach der Oertlichkeit der Doppelbilder weniger in den Vordergrund, indem sie sich mit dem durch den Winkelabstand vom Fixationspunkt gegebenen scheinbaren Ort begnügten. Eine ungenaue Fragestellung ist der Grund der Unbestimmtheit. — Meissner mit seinen umfangreichen Neuerungen über den Horopter verwickelte sich betreffs des Ortes der Doppelbilder in schlimme Widersprüche. „Nennen wir Ort die Localisation eines Eindrucks nach drei Dimensionen," sagt er (pag. 121), „so haben die Doppelbilder keinen Ort"; denn eine Dimension, der Tiefenwerth, soll ihnen fehlen. wenn ein Ort ohne Tiefenwerth überhaupt denkbar wäre. Wenn die Wahrnehmung so wenig bestimmte Data über den Ort enthält, dass verschiedene Ortsvorstellungen durch dieselbe hervorgerufen werden können, so hat jede einzelne Ortsvorstellung doch immer einen bestimmten Tiefenwerth, mag dieser nun wahr oder falsch sein. Uebrigens verweist Meissner die Doppelbilder, da sie doch irgendwo sein müssen, in den Horopter, und da trifft es sich nur unglücklich, dass der Horopter nach ihm in den meisten Stellungen nur ein Punkt ist, also keinen Raum hat zur Aufnahme von Doppelbildern. Dies führt zu dem Paradoxon einer „virtuellen Horopterebene."

Den letzten Versuch zur vermeintlichen Unterbringung der Doppelbilder hat v. Recklingshausen**) gemacht, indem er ihnen eine von ihm so genannte Normalfläche anweist, welche gebildet wird durch die Durchschnittslinien der durch identische Meridiane bei bestimmter Fixation gelegten Ebenen. Diese Fläche ist bald eben, und ist dann mit der Ebene des Aguilonius identisch, bald stellt sie den Mantel eines schiefen kreisförmigen Doppelkegels dar, dessen Spitze im Fixationspunkt liegt. Es bedarf diese Ansicht keiner besonderen Widerlegung, da die theoretische Begründung auf den weiterhin als irrig zu erweisenden Resultaten Meissner's fusst (Schiefstellung der Trennungslinien identischer Netzhauthälften durch Rotation der Bulbi in allen sogenannten Secundär- und Tertiärstellungen) und die Deutung der Experimente an dem bereits erwähnten Grundirrthum über Perspective laborirt.

Bei den nachfolgenden Erörterungen setze ich voraus, dass die nicht zur räumlichen Deckung und deshalb nicht zur einfachen Wahrnehmung gelangenden Netzhautbilder von wirklichen einfach vorhandenen Objecten

*) J. Müller sagt z. B.: „Die Oertlichkeit der (gekreuzten) Doppelbilder auf dem hinteren einfachen Grunde wird durch die Gemeinschaft der Sehwinkel bestimmt" (vergl. Phys. pag. 179). An anderer Stelle aber sagt er (pag. 173): „Die Doppelbilder erscheinen in der „Ebene des Convergenzpunktes."

**) l. c. pag. 156.

herstammen. Ich setze ferner voraus, dass die Netzhautbilder, um die es sich handelt, normal und richtig sind, nicht aber Störungen erlitten haben, die in Anomalien der brechenden Medien begründet sind. Die letzteren mit den in ihrem Gefolge befindlichen Sehstörungen gehören einem besonderen Capitel der pathologischen Physiologie des Sehens an. Auch die Perceptionsfähigkeit der Netzhautbilder muss in Folgendem als normal angenommen werden.

Als Bedingung für die richtige Wahrnehmung der räumlichen Beziehungen eines Punktes, dessen normal entstehende Netzhautbilder normal percipirt werden, ist, bildlich ausgedrückt, „die richtige Ziehung der Projectionslinien der Netzhautbilder, und die Verlegung des Objectpunktes in die Schnittpunkte je zweier zusammengehöriger Projectionslinien erkannt worden. Zur Ziehung einer geraden Linie — um bei der bildlichen Ausdrucksweise zu bleiben — gehört die Kenntniss von der Lage zweier Punkte derselben. Für unsern Fall sind diese beiden Punkte der Ort des Netzhautbildes und der Kreuzungspunkt aller Projectionslinien im Auge. Die Ziehung der Projectionslinien ist vollendet, d. h. die Richtung, in der der gesehene Punkt sich befindet, ist bekannt, wenn wir über die Lage dieser Punkte orientirt sind. Das Bewusstsein von der Stellung jedes Auges vermittelt uns diese Kenntniss. Nehmen wir jedoch die zweite Bedingung des Einfachsehens zuerst in Angriff, da sie uns auf das führt, was wir im Allgemeinen physiologisches Doppeltsehen nennen dürfen. Indem also die Richtung der Projectionslinien als gegeben vorausgesetzt wird, entsteht die Frage: Was veranlasst uns, die beiden Bilder gerade dahin zu projiciren, wo sie zur Deckung gelangen, und also ein einfaches Object gewissermassen aufbauen? Warum projiciren wir sie nicht in der Richtung der Visirlinien näher oder ferner, so dass zwei Bilder gesehen werden? Es könnte indessen noch die Vorfrage eine Discussion zu verlangen scheinen, wie es überhaupt möglich sei, dass trotz des Vorhandenseins zweier Eindrücke, die das Sehorgan zu gleicher Zeit erhält, nur ein Object wahrgenommen, vorgestellt werde. Vorbehaltlich weiterer Besprechung dieses Punktes, bemerke ich hier nur, dass der aller sinnlichen Wahrnehmung vorangehende Raumbegriff eine ausreichende Erklärung liefert. Werden wir durch irgend eine Empfindung veranlasst, uns einen Punkt an einer bestimmten Stelle des Raumes vorzustellen, und kommt eine zweite Empfindung hinzu, welche uns nöthigt, einen Punkt an dieselbe Stelle des Raumes zu verlegen, so können wir, falls die Wahrnehmungen gleichartig sind, nur einen Punkt in der betreffenden Lage vorstellen; denn diese Stelle des Raumes ist eben nur einmal für uns vorhanden. Es ist gleichgültig, ob die zusammen wirkenden Empfindungen demselben Sinne, z. B. beiden Augen oder verschiedenen räumliche Vorstellungen bewirkenden Sinnen, etwa

dem Tastsinn und Sehsinne, angehörene. Sollten aber die Wahrnehmungen nicht gleichartig sein, fühlen wir z. B. eine Kugel da, wo wir einen Würfel zu sehen glauben, oder sehen wir mit dem einen Auge eine Kugel, wo wir mit dem andern einen Würfel sehen, so lässt sich in der Vorstellung nicht beides vereinigen, sondern wir sind uns bewusst, dass wir uns in einem abnormen Zustande der Wahrnehmung befinden, einer Täuschung unterliegen. Es ist uns schlechterdings unmöglich, uns an demselben Orte verschiedene Objecte zugleich vorzustellen.

Eine kurze Beantwortung der obigen Fragen nach den die räumliche Deckung zusammengehöriger Bilder veranlassenden Momenten ist bereits in den ersten Bemerkungen über das körperliche Sehen gegeben worden. Mit Zuhülfenahme des stereoskopischen Versuches wird sich die Antwort noch ein wenig vollständiger geben lassen, daher ich die Resultate hier zusammenstelle.

Von rein sinnlichen Momenten, welche die Projection eines gesehenen Punktes gerade in den Schnittpunkt der Visirlinien begünstigen, wäre nur eins zu nennen, und auch dies eine von sehr zweifelhaftem Werthe. Man sollte denken, dass das Bewusstsein des Accommodationszustandes uns über die Entfernung des Punktes belehren sollte. Die optische Schärfe des Bildes, resp. die Grösse der Zerstreuungskreise im Verein mit dem Gefühl der zur Einstellung des Auges aufgewandten muskulären Anstrengung könnte man für geeignet halten, die genaue Kenntniss der Entfernung zu ermitteln. Allein alle Versuche lehren, dass dies Schätzungsmittel ein sehr ungenaues und untergeordnetes ist. Unter Anderem erwähne ich die von Wundt „über den Einfluss der Accommodation auf die räumliche Tiefenwahrnehmung" gemachten Untersuchungen*), und den von Meissner besprochenen und pag. 122 dieser Abhandlung angeführten Versuch, wo die Accommodation mit der wahrgenommenen Entfernung des Bildes in entschiedenem Widerspruch steht.

Das wesentlichste, die Vereinfachung der Wahrnehmung bewirkende Moment kann nicht in der Sinnlichkeit gesucht werden. Wie überhaupt der Act der Wahrnehmung kein bloss sinnlicher ist, wie insbesondere die Localisation des Wahrgenommenen eine Sache der geistigen Thätigkeit, ein Beziehen des Empfundenen auf eine Ursache ist, so ist auch das Einfach-Wahrnehmen als im Causalitätsgesetz begründet, in demjenigen Geistesvermögen zu suchen, dessen Form die Causalität ist. Wenn das in dem sinnlichen Eindruck enthaltene Material für die causalitätsmässige Entstehung der Wahrnehmung nicht ausreicht, so muss eine Ergänzung eintreten, theils durch anderweitige räumliche Sinneswahrnehmungen, theils durch die aus gleichen oder ähnlichen früheren Wahrnehmungen geschöpfte Erfahrung. Hätten wir ein absolut sicheres

*) Zeitschr. für rationelle Medicin. Dritte Reihe. Band VII, 1859, pag. 321.

sinnliches Mittel zur Bestimmung der Entfernung jedes gesehenen Punktes, so bedürften wir nicht der Controlle durch mehrfache auf einander folgende Gesichtswahrnehmungen oder durch Tastwahrnehmungen, so wäre für viele Fälle auch die Ergänzung durch die Erinnerung oder Einbildungskraft und damit eine Quelle von Täuschungen ausgeschlossen. — Wie wir die Uebereinstimmung zwischen Tast- und Gesichtswahrnehmungen durch Uebung und Erfahrung kennen lernen und uns daran gewöhnen, gewisse Empfindungen des Tast- und Sehorgans auf eine identische Ursache zu beziehen, so muss auch die Uebereinstimmung zwischen den durch beide Augen erhaltenen Empfindungen kennen gelernt werden. Die Aehnlichkeit beider Bilder muss erkannt werden. Die Thätigkeit der Urtheilskraft, welche die perspectivisch-gesetzliche Aehnlichkeit der Bilder herausfindet, veranlasst, ja zwingt uns, die ähnlichen Bilder in diejenige Entfernnng zu projiciren, in der sie sich räumlich decken und eine einfache Wahrnehmung constituiren; denn wir wissen aus vielfach wiederholter Erfahrung, dass wir bei gleichzeitiger Benutzung beider Augen zwei ähnliche Sinneseindrücke erhalten, die von einem einfachen Objecte herrühren. Die lange Gewohnheit giebt der Thätigkeit etwas Unwillkürliches und Unwiderstehliches, selbst wenn wir uns einer Täuschung bewusst sind. Die stereoskopischen Versuche sind Beispiele, wo ähnliche Bilder mit Unrecht, d. h. der Wirklichkeit entgegen, zur räumlichen Deckung gebracht werden. Ihnen gegenüber stehen Fälle, wo die Bilder, welche vereinigt werden sollten, nicht vereinigt, sondern getrennt wahrgenommen werden, weil sie sich unter Bedingungen befinden, welche den gewöhnlichen Verhältnissen des Sehens widersprechen.

Besonderen Hervorhebens bedarf noch die Bedeutung der Fixation. Da wir allen Objecten, welche wir anschauen wollen, die Stellen des directen Sehens gegenüberkehren, weil diese uns die schärfsten Eindrücke liefern, so bildet sich für die centralen Regionen der Netzhäute vorzugsweise die sehr energische Neigung aus, die Bilder, von welchen sie getroffen werden, zu einer einfachen Wahrnehmung zu verschmelzen. Selbst wenn die Bilder nicht vollständig zusammen stimmen, geschieht dies, ja sogar auf Kosten des richtigen Bewusstseins von der Augenstellung, wofür weitere Beispiele den früheren hinzugefügt werden sollen. Excentrische Netzhautbilder können viel leichter getrennt bleiben, indem sie in unrichtige Entfernung verlegt werden. Grad und Richtung der Excentricität ist hier von grosser Wichtigkeit.

Es erhellt aus dem Gesagten, wie in der Unzulänglichkeit des uns zu Gebote stehenden sinnlichen Materials die Möglichkeit einer Täuschung in Bezug auf die Oertlichkeit und demzufolge auch in Bezug auf die Einfachheit oder Doppelheit des wahrgenommenen Objects begründet ist. Es wird darauf ankommen, im Einzelnen die Bedingungen

festzustellen, welche Einfachsehen oder Doppeltsehen nothwendig zur Folge haben oder begünstigen.

Behufs Ermittelung der Fälle, in denen wir im Stande sind, die beiden Netzhautbilder in richtige Entfernung zu projiciren, und daher einfach und körperlich zu sehen, in welchen hingegen gesonderte Präception flächenartiger Doppelbilder stattfindet, werden wir uns zunächst auf den Boden der Thatsachen zu stellen haben.

Was die jetzt gebräuchlichen Angaben über diese Thatsachen sagen, scheint mir, mit so grosser Uebereinstimmung es auch von allen Seiten wiederholt wird, entschieden unrichtig. Nur diejenigen Objecte, welche im Horopter liegen, sollen einfach gesehen werden, alles Uebrige doppelt. Lassen wir es vorläufig dahingestellt, welche Gestalt und Lage der Horopter habe, fassen wir ihn so weit als möglich auf, geben wir ihm eine Flächenausdehnung nach allen Richtungen, so können wir dennoch in der eben erwähnten, seit Aguilonius fortgeerbten Behauptung nur die Concession sehen, welche man der Theorie gemacht hat. Um das Dogma von der Identität aufrecht zu erhalten, hat man den Thatsachen Zwang angethan. Obwohl der Horopter in unendlich vielen Augenstellungen nach den neuesten Ansichten gar auf einen Punkt reducirt ist, also schlechthin alle Punkte der Aussenwelt ausser dem fixirten doppelt erscheinen müssten; wie Viele giebt es dennoch nicht, die niemals Erscheinungen des Doppeltsehens gehabt haben, wie Wenige, wenn überhaupt Einen, der durch Beobachtung die Existenz einer besonders bevorzugten Fläche im Raume kennt, in der die Theorie allein einfache Bilder zu sehen erlaubt. Freilich wird die Unaufmerksamkeit, die Vernachlässigung des einen Doppelbildes angeschuldigt; der aufmerksame Beobachter könne sich sehr wohl von dem Vorhandensein des Horopters überzeugen. Ich kann mir das Zeugniss geben, keine Mühe gescheut zu haben, um mich von der Wahrheit jener Behauptung zu überzeugen, allein die Ergebnisse meiner Untersuchungen stimmen dazu durchaus nicht. Stets habe ich gefunden, dass es gewisser künstlich herzustellender Bedingungen bedarf, um Doppeltsehen hervorzurufen. Man betrachte ein an einer senkrechten Wand aufgehängtes Gemälde. Obgleich die Ebene desselben keineswegs mit dem Horopter übereinstimmt, so erscheint doch alles einfach. Bei aller Schärfung der Aufmerksamkeit gelingt es nicht, Theile des Bildes doppelt zu sehen. Um einen Ueberblick zu gewinnen, bedarf es auch nicht eines Herumführens der Macula lutea auf jeden Punkt des Bildes; auch die nicht fixirten Theile geben genügend deutliche Eindrücke, um eine Auffassung des Ganzen möglich zu machen, und niemals finden wir, wenn wir fixiren, dass wir uns in der Zahl der Objecte getäuscht haben. Wenn man in einer Baumreihe einen Baum fixirt, so erscheinen darum die näheren und ferneren Bäume keineswegs doppelt. Noch beweisender ist Folgendes: Man betrachte

in einer beliebigen sogenannten Tertiärstellung der Augen ein bedrucktes Blatt. Je weiter die Buchstaben von dem fixirten Buchstaben abstehen, um so undeutlicher sind sie zwar, aber von Doppelterscheinen gewahrt man nicht die geringste Spur. Wollte man einwenden, die Doppelbilder seien zu nahe an einander, so dass sie sich fast decken, so braucht man sich nur der Dove'schen Prüfung identischer Drucke durch das Stereoskop zu erinnern. Ein sehr geringes Abweichen eines Buchstaben aus seiner normalen Stellung lässt ihn im stereoskopischen Bilde schon bedeutend aus der Ebene heraustreten. Die Beispiele, in denen wir trotz aller Aufmerksamkeit, der Theorie zuwider, nichts von Doppeltsehen bemerken können, liessen sich leicht häufen. — Von Solchen, die durch die Kenntniss der Theorie nicht präoccupirt waren, habe ich niemals eine Bestätigung der gewöhnlichen Angaben über Doppeltsehen erhalten, auch wenn an der Beobachtungsfähigkeit nicht gezweifelt werden konnte. Wer aber die Theorie kennt, ist oft nur gar zu geneigt, das zu sehen, was diese verlangt, und die Unbestimmtheit der excentrischen Eindrücke giebt hier dem Wunsch und Willen einen grossen Spielraum. „Ich sehe zwar nicht deutlich doppelt, aber auch nicht deutlich einfach", höre ich oft bei seitwärts befindlichen Objecten sagen, und damit glaubt man eine Bestätigung der Theorie gewonnen zu haben. Ganz anders in Fällen, wo bei nicht geringerer Excentricität und nicht grösserer Undeutlichkeit der Bilder ein unzweifelhaftes Doppeltsehen stattfindet, das Jeder sogleich bemerkt; falls nämlich die geeigneten Bedingungen gegeben sind. Nur auf solche Fälle, wo kein Zweifel stattfindet, ob ein Bild oder zwei gesehen werden, wird man eine Theorie des Doppeltsehens gründen dürfen. Es giebt zwar auch eine Uebung und Geschicklichkeit im Doppeltsehen; doch wird sich später dafür eine andere Erklärung bieten, als die blosse erhöhte Aufmerksamkeit. Es kommt nun darauf an, bei der Negation nicht stehen zu bleiben, sondern die anderweitigen Bedingungen des Doppeltsehens anzugeben.

Die richtigsten, der Natur sich am meisten anschliessenden Angaben habe ich in dieser Beziehung in einer älteren Arbeit Vieth's*) gefunden. Er bemerkt, es sei für einigermassen excentrische Objecte schwer zu entscheiden, ob sie einfach oder doppelt gesehen werden, weil die percipirten Bilder zu wenig deutlich seien. Berücksichtige man nur die deutlich unterscheidbaren Doppelbilder, so gelte Folgendes: Was innerhalb des parallaktischen Winkels (dessen Schenkel die Sehaxen sind) und seines Scheitelwinkels liegt, wird doppelt gesehen, was ausserhalb dieser Winkel, einfach, obwohl unbestimmt. Nur sehr nahe am Auge befindliche Gegenstände sollen auch ausserhalb des sogenannten parallaktischen Winkels doppelt erscheinen. In der That wird man dies im

*) l. c. pag.

Allgemeinen bestätigt finden, wenn auch keine erschöpfende Bezeichnung der Bedingungen des Doppeltsehens damit gegeben ist. Richtig und wichtig ist vor Allem, dass die zwischen den Sehaxen befindlichen Objecte sehr leicht und deutlich doppelt gesehen werden, nur in beschränktem Maasse richtig, dass die ausserhalb derselben befindlichen einfach erscheinen. Folgender Versuch zeigt, dass die Lage eines Objects, ob innerhalb, ob ausserhalb der Schenkel des Convergenzwinkels, von Einfluss ist. Man fixire einen einige Fuss entfernten Punkt und fahre mit einem vertical gehaltenen schmalen Gegenstand, z. B. einem Finger, zwischen dem Fixirpunkt und den Augen in einer Entfernung von 8 Zoll von einer Seite zur andern herüber. Wenn der Finger innerhalb des Convergenzwinkels ist, wird er unfehlbar doppelt gesehen, ausserhalb entweder gar nicht oder mit viel geringerer Deutlichkeit. Sobald der Finger die Sehaxe nach aussen passirt hat, hört plötzlich die Deutlichkeit des Doppelbildes auf. Es könnte scheinen, als wenn das Verschwinden des Doppelbildes durch die ungleiche Excentricität und daher verschiedene Deutlichkeit beider Bilder verursacht sei; doch verliert diese Vermuthung ihre Wahrscheinlichkeit, wenn man bedenkt, dass ein näheres, innerhalb des Sehaxenwinkels befindliches Object, auch wenn dessen Bilder von ebenso ungleicher Excentricität und ebenso ungleicher Deutlichkeit sind, sofort doppelt erscheinen. Ist in Fig. 21 Taf. III, wo a das feste, fixirte Object, b und c das bewegliche Object in verschiedenen Stellungen bedeutet, der Winkel $bLa = \angle\, cLa$, so ist der Grad der Excentricität der Bilder β und γ gleich, und gleichwohl wird in dem einen Falle doppelt gesehen, im andern nicht. — Das Wesentliche scheint darin zu liegen, dass die innerhalb der Sehaxen befindlichen Objecte Bilder auf entgegengesetzten Seiten der hinteren Pole des Auges erzeugen, das eine Bild links von der Macula lutea, das andere rechts von der anderen. Ich will hier nur darauf hindeuten, dass beide Bilder in diesem Falle auf ganz verschiedenen Bahnen zum centralen Sehorgan gelangen, da gleichnamige Hälften der Retinae durch die Fasern des gleichnamigen Truncus opticus gebildet werden. Die Eindrücke der beiden Bilder des Objects werden jeder durch einen andern Truncus opticus zum Gehirn geleitet, wenn sich das Object innerhalb des Convergenzwinkels oder dessen Scheitelwinkels befindet. Obgleich wir über die weitere anatomische Anordnung der Fasern im Gehirn wenig wissen, auch über die Leitungsverhältnisse in den Sinnesnerven nichts Näheres bekannt ist, so wäre es doch nicht für unmöglich zu halten, dass die gänzlich gesonderte Leitung zweier Eindrücke von Einfluss auf die Wahrnehmung wäre, dass vielleicht die instinctive Erkenntniss der Zusammengehörigkeit der beiden Bilder beeinträchtigt würde. — Besteht Divergenz der Sehaxen, so wird für einen grösseren Theil des Sehfeldes das in Rede stehende Verhältniss eintreten. Aus dem ganzen zwischen beiden verlängerten Sehaxen befindlichen Raum

fallen die Bilder auf entgegengesetzte Netzhautflächen. Damit scheint die von v. Graefe hervorgehobene Erfahrung übereinzustimmen, dass bei pathologischer Divergenz der Sehaxen (wo die Doppelbilder in der Regel gekreuzt sind) das Doppeltsehen mit besonderer Intensität auftritt, und viel mehr störend ist als bei Deviation einer Sehaxe nach innen.

Auch mit der zweiten von Vieth angegebenen Bedingung des Doppeltsehens hat es seine Richtigkeit, dass nämlich Objecte auch ausserhalb des Convergenzwinkels doppelt erscheinen, wenn sie den Augen sehr nahe sind. In der That lehren die Versuche, dass Doppeltsehen um so leichter eintritt, je grösser der Tiefenabstand zwischen dem fixirten und dem nicht fixirten Objecte ist; damit die Doppelbilder sogleich deutlich erscheinen, muss der Abstand ein recht erheblicher sein. Ganz analoge Erscheinungen sind bei Gelegenheit der stereoskopischen Versuche beobachtet worden; indem die Verschmelzung von Bildern um so schwerer gelang, je bedeutender die Tiefenabstände der einzelnen Theile des Sammelbildes differirten. Ueber eine gewisse Grenze hinaus war eine stereoskopische Combination nicht mehr möglich, wenn die räumliche Deckung der nach aussen projicirten Bilder in gar zu verschiedenen Abständen vom Auge erfolgen würde. Offenbar ist das Verhälsniss mit dem Doppeltsehen sehr naher Objecte bei Fixation fernerer ganz dasselbe. Es wird schwer zu entscheiden sein, ob nur die Abweichung von der Gewohnheit daran schuld ist, dass wir Bilder nicht in gar zu sehr differente Entfernung projiciren mögen, oder ob noch ein tieferer Grund stattfinde.

Zur Ergänzung und Berichtigung der Vieth'schen Angaben muss ich noch hinzufügen, dass es beim Doppeltsehen sehr auf die Art der Objecte ankomme. Kleine Objecte werden viel leichter doppelt gesehen, als grosse, schmale und vertical stehende viel leichter als breite. Ist das Object breit genug, dass die Doppelbilder sich berühren oder gar zum Theil decken, so geschieht meist die Projection in die richtige, der Wirklichkeit entsprechende Ferne, und Doppeltsehen gelingt sehr schwer oder gar nicht. Ein vertical gehaltener Finger, eine Bleifeder, Nadeln sind daher geeignete Objecte zum Experimentiren, während grössere und breitere Gegenstände selbst unter sonst ungünstigen Umständen doch einfach erscheinen.

Ich stelle die nur aus dem Groben bezeichneten Bedingungen für das physiologische Doppeltsehen zusammen, insoweit dasselbe auf einen Irrthum in der Entfernung bei normaler Richtung der Projection hinauskommt.

An erster Stelle Nicht-Fixation. Sodann: Weiter Abstand eines Objects vom Fixationspunkt nach der Dimension der Tiefe; besonders wenn letzterer entfernter ist. Ferner: Lage eines Objects innerhalb des Convergenzwinkels oder seines Scheitelwinkels, sodass die Netzhautbilder auf ungleichnamige Netzhauthälften fallen. Ferner: Gewisse Beschaffenheit der Objecte, sodass die Doppelbilder seitlich auseinander treten können. Endlich wäre noch zu erwähnen, als zuweilen von einigem Einfluss: Unkenntniss der Gegenstände, besonders der Grösse nach, oder Indifferenz gegen dieselben, daher einfache Linien leichter doppelt erscheinen als complicirtere Zeichnungen und Gegenstände.

Bereits oben sahen wir, dass, wenn die Vereinigung beider Netzhautbilder zu einem körperlichen Bilde in den Schnittpunkten der Projectionslinien aus irgend einem Grunde nicht zu Stande kam, die beiden Sondereindrücke als flächenhafte Doppelbilder zur Wahrnehmung gelangen. In Ermangelung eines in dem sinnlichen Eindrucke liegenden Anhaltspunktes, in welche Entfernung jeder einzelne Punkt des Bildes zu verlegen sei, werden im Allgemeinen alle Punkte in gleiche Entfernung verlegt, und dem Bilde fehlt die Tiefendimension. Diese Projectionsweise trägt indessen nicht den Charakter der Nothwendigkeit, sie ist, wie bereits mehrmals hervorgehoben, als ein Nothbehelf anzusehen. Bis zu einem gewissen Grade kann die Mangelhaftigkeit des Sinneneindrucks durch die Vorstellung ergänzt werden, indem Gedächtniss und Einbildungskraft die der Empfindung entsprungene Vorstellung vervollständigen. Wenn auf diese Weise beide Doppelbilder unter gewissen Bedingungen den Anschein des Körperlichen erhalten können, so ist doch der Unterschied gegen die viel energischere, specifisch körperliche Wahrnehmung bei binocularer Verschmelzung nicht zu verkennen.

Ueber die Entfernung, in welche die flächenartigen Doppelbilder verlegt werden, lässt sich nichts allgemein Geltendes angeben, weil hier die Mitwirkung der Vorstellungen, die auf verschiedenen Wegen erlangte Kenntniss von der wirklichen Entfernung, die Bekanntschaft mit der Grösse und sonstigen Beschaffenheit der Objecte auf den sinnlichen Eindruck vielfältigen Einfluss nehmen können. Dennoch darf als Regel angenommen werden, dass, wenn jene Einflüsse möglichst vermieden werden, die Entfernung der Projectionssphäre mit der Entfernung des Fixationspunktes in Uebereinstimmung steht. Also zwei durch den Fixirpunkt gehende Kugelflächen, deren Centra die Kreuzungspunkte der Visirlinien in jedem Auge sind, sind die Flächen, auf welche im Allgemeinen die Doppelbilder projicirt werden. Von dieser Annahme ausgehend und den modificirenden

Einfluss, welchen die geistige Thätigkeit auf die Localisation der Doppelbilder üben kann, Abstand nehmend, wird es nöthig sein, die Verhältnisse des Doppeltsehens zu untersuchen. Es wird dann ferner geprüft werden müssen, inwieweit die Thatsachen mit der vorläufig den Charakter einer Hypothese tragenden Behauptung in Uebereinstimmung stehen.

Für die Lage der Doppelbilder zu einander ist es wichtig einmal, ob das Object diesseits oder jenseits der Projectionssphäre liege, sodann, wie weit es von den Projectionssphären absteht. Leicht lässt sich folgende Regel aufstellen:

Objecte, welche jenseits der Projectionssphären liegen, erscheinen in gleichnamigen, Objecte, welche diesseits der Projectionssphäre liegen, in gekreuzten Doppelbildern.*)

L und *R* (Fig. 22 Taf. III) seien die Kreuzungspunkte der Visirlinien der beiden Augen, deren Axen auf den Punkt *a* gerichtet sind. *bac* ist der Durchschnitt der Projectionssphäre des rechten, *dae* der des linken Auges; beide schneiden sich im Fixirpunkte *a*. Der jenseits der Projectionssphäre liegende Punkt *m* wird, falls das Einfachsehen am wahren Orte irgendwie gehindert ist, vom linken Auge in $m_{,}$ gesehen, wo die Projectionslinie des Punktes die diesem Auge zugehörige Projectionssphäre trifft; das rechte Auge verlegt das Bild desselben Punktes nach $m_{,,}$. Das Bild des rechten Auges liegt also rechts, das des linken links: Gleichnamiges Doppeltsehen. $m_{,}$ und $m_{,,}$ seien die scheinbaren, oder richtiger ausgedrückt die vorgestellten oder wahrgenommenen Orte der Doppelbilder; die Länge einer Linie, welche beide verbindet, würde den Abstand der Doppelbilder bezeichnen.

Der diesseits der Projectionssphären gelegene Punkt *n* wird vom linken Auge in $n_{,}$, vom rechten in $n_{,,}$ gesehen; das Doppelbild des rechten Auges ist also links, das des linken rechts: Gekreuztes Doppeltsehen.

Es darf nicht übersehen werden, dass im letzteren Falle eine Unbestimmtheit, wenn nicht gar Unrichtigkeit entstehen kann. Wenn nämlich das diesseits der Projectionssphäre befindliche Object eine stark seitliche Lage hat, so können die Doppelbilder nicht mehr schlechthin gekreuzt genannt werden, wenigstens nicht in Bezug auf die Medianebene; das Bild des rechten Auges kann dann nämlich weiter nach rechts von der Medianebene fallen, als das Bild des linken Auges, während freilich für einen bestimmten Punkt der Medianebene, z. B. den Mittelpunkt der die Augencentra verbindenden geraden Linie, die Doppelbilder allerdings gekreuzt sind. Die Unbestimmtheit liegt in dem Tiefenabstande der

*) Ich behalte die Ausdrücke gleichnamiges und gekreuztes Doppeltsehen bei, da sie sich in der Ophthalmologie bereits das Bürgerrecht erworben haben, und da die Meissner'schen Ausdrücke „rechtes Doppelbilder" etwas Zweideutiges haben.

Doppelbilder. Wegen des letzteren können dieselben Bilder von verschiedenen Punkten aus betrachtet, verschiedene Lage zu einander haben, z. B. auf ein Auge bezogen gleichnamig, auf das andere bezogen gekreuzt sein. Für solche Fälle, die namentlich dann eintreten, wenn Objecte zwischen beiden Projectionssphären liegen, d. h. in dem Raume, welcher in der Fig. 22 durch die Bogen ad und ab einerseits und ac und ae andrerseits eingeschlossen wird, — für solche Fälle müsste man entweder die Bezeichnung gleichnamige oder gekreuzte Doppelbilder bei Seite lassen, oder will man doch den seitlichen Abstand irgendwie angeben, so muss man hinzufügen, für welchen Punkt die Data gelten sollen. Es empfiehlt sich, als solchen Punkt den Mittelpunkt der Grundlinie festzusetzen. Dann wird zu entscheiden sein, für welche Lage der Objecte der seitliche Abstand gleich Null ist, d. h. unter welchen Umständen für den erwähnten Standpunkt gerade hintereinander liegen und sich decken.

Zieht man von dem Mittelpunkte M (Fig. 23 Taf. III) der Grundlinie eine Gerade, welche beide Projectionssphären schneidet, so wird es leicht sein, den Ort des Objects zu finden, welches seine Doppelbilder in den Schnittpunkten b und c haben würde. Dieser Ort wird nämlich da sein, wo die die beiden Bilder mit den betreffenden Augencentren verbindenden Linien (Projectionslinien Ld und Rd) sich schneiden. Der Schnittpunkt d, wie alle durch dieselbe Construction (in Fig. 23) gefundenen Punkte, liegt in einer zwischen beiden kreisförmigen Durchschnitten der Projectionssphären in der Mitte liegenden Curve (eaf), welche sich leicht als eine Ellipse, deren Brennpunkte in den Augencentren liegen, erweisen lässt. Die Ellipse ist der Durchschnitt einer gekrümmten Fläche, der Oberfläche eines Rotations-Ellipsoids, entstanden durch Drehung der Ellipse um ihre mit der Grundlinie der Augen zusammenfallende grosse Axe. Eine solche Fläche, von der jeder Punkt die Eigenschaft hat, dass seine Doppelbilder auf den Mittelpunkt des Ellipsoids bezogen, gerade hintereinander liegen, nenne ich der Kürze halber die intermediäre Projectionsfläche. Der oben angeführte Satz von der Lage der Doppelbilder würde mit Bezug auf diese Fläche so lauten: Punkte, welche jenseits der intermediären Projectionsfläche liegen, erscheinen in gleichnamigen, wenn sie diesseits derselben liegen, in gekreuzten; wenn sie endlich in dieser selbst liegen, in gerade hintereinander liegenden Doppelbildern, Alles bezogen auf den Mittelpunkt der Grundlinie. Und es folgt weiter: Je weiter ein Object von der intermediären Projectionsfläche absteht, um so bedeutender ist die seitliche Distanz der Doppelbilder.

Obgleich die Beziehung auf einen so zu sagen mittleren Standpunkt beider Augen eine immer nur annähernd realisirte Bedingung ist, so ist doch die Kenntniss der ellipsoidischen Projectionsfläche nicht ganz ohne Wichtigkeit. Sie entspricht am meisten dem, was man seit Aquilonius als Horopterfläche bezeichnet. Eine einfache Projectionsfläche ist ins-

besondere beim Sehen in die Ferne zulässig. Je ferner der fixirte Punkt und mit ihm die Projectionssphäre liegen, um so geringer wird der in Fig. 23 Taf. III schattirte Raum zwischen beiden Kugelflächen sein, um so näher werden beide daran sein, zusammen zu fallen. Für grössere Entfernungen kann man daher beide Projectionssphären durch eine ellipsoidische oder kugelförmige ersetzen, deren Mittelpunkt im Halbirungspunkte der Grundlinie liegt. - Das Himmelsgewölbe ist eine solche gemeinschaftliche Projectionssphäre und der Horizont ein Durchschnitt derselben. Bei Projectionskugelflächen von grossem Radius kann ein kleiner Abschnitt derselben als Ebene betrachtet werden.

Noch ein fernerer Satz über das Verhalten der Doppelbilder dient zur Ergänzung des vorigen: Der Unterschied in der Entfernung und Grösse der Doppelbilder ist um so beträchtlicher, je seitlicher und je näher das Object sich befindet.

Ein Blick auf Fig. 22 Taf. III lehrt die Richtigkeit des Satzes in Betreff der Entfernung. Der gegenseitige Abstand beider Projectionssphären wächst von dem Fixirpunkt nach beiden Seiten, er wächst ferner in allen Theilen mit der Abnahme des Radius der Projectionssphäre. Daher der verschiedene Abstand der beiden Doppelbilder von den Augen, der zwar, wie später zu erwähnende Versuche lehren, nur, wenn er sehr erheblich ist, sogleich auffällt, bei grösserer Aufmerksamkeit aber oft genug constatirt werden kann. Grössenunterschied der Doppelbilder muss stattfinden, sobald ein Object dem einen Auge näher steht als dem andern, da die verschieden grossen Netzhautbilder in gleiche Entfernung nach aussen projicirt werden.

Die übrigen Eigenschaften der Doppelbilder lassen sich für jeden einzelnen Fall leicht feststellen, wenn man berücksichtigt, dass die Doppelbilder nichts weiter sind als die auf die kugelförmigen Projectionsflächen verlegten Netzhautbilder. Früheren Betrachtungen zufolge müssen die Bilder der Projectionssphäre den Netzhautbildern geometrisch ähnlich sein; dieselben perspectivischen Verziehungen und Verkürzungen, welche in den Netzhautbildern vorkommen, werden sich daher auch in den den Projectionssphären angehörigen Bildern wiederfinden, also sowohl in den nicht zu räumlicher Deckung gelangten Doppelbildern, als beim monocularen Sehen überhaupt. (Natürlich wird hier von der aus der Kenntniss der gesehenen Gegenstände hervorgehenden Correction in der Wahrnehmung abgesehen.) Die Schiefheiten, Verschiebungen und Krümmungen der Bilder beim physiologischen Doppeltsehen finden auf diese Weise ihre Erklärung.

Zahlreiche Versuche müssten durchgegangen werden, um die bisher aufgestellten Behauptungen über die Lage der Doppelbilder in allen Einzelheiten zu verifi[redacted] Gesetze hervorgehoben worden, *wie grossen*. [redacted] und die Deutung der

Phänomene des Doppeltsehens unterliegt. Die Undeutlichkeit der excentrischen Wahrnehmungen, so wie die Concurrenz geistiger Thätigkeiten macht, dass nur eine geringe Anzahl der Versuche zu klaren Beweisen verwerthet werden kann, und manches lässt sich nicht sowohl durch ein directes, schlagendes Experiment darlegen, als es vielmehr aus der Gesammtheit der Erscheinungen geschlossen werden muss. Die sphärische Gestalt der Projectionsfläche z. B. lässt sich keineswegs aus jedem Versuche mit monocularem Sehen oder Doppeltsehen nachweisen; es muss mit Sorgfalt die ergänzende Wirkung der Vorstellung möglichst ausgeschlossen werden, um einen beweiskräftigen Versuch zu finden, und ein solcher wird ohnehin nicht für Jeden in gleichem Grade überzeugend sein. Abweichungen von obigen Sätzen und Regeln dürfen nicht schlechtweg als Negation der Richtigkeit betrachtet werden, vielmehr wird es einer genauen Analyse bedürfen, um die Begründung dieser Abweichungen in den genannten Momenten zu prüfen. Da ich von erschöpfender Ausführlichkeit für jetzt abstehen muss, begnüge ich mich wenigstens beispielsweise einige factische Belege kurz anzuführen.

An einer Wand werde in verticaler Richtung ein schwarzer Faden von mehreren Fuss Länge ausgespannt. Man stelle sich alsdann so, dass der Faden etwa um einen Fuss vom Auge absteht und halte zwischen Faden und Auge ein Object, welches man scharf fixirt. Der schwarze Faden erscheint in gleichnamigen Doppelbildern, welche nur dann parallel scheinen, wenn der Fixirpunkt in genau gleicher Höhe mit dem Auge sich befindet. Wird der Fixirpunkt gesenkt, so convergiren die Doppelbilder nach oben, wird er gehoben, so convergiren die Doppelbilder nach unten. Leicht kann man sich hierbei von der Krümmung der Doppelbilder des Fadens nach der Projectionssphäre überzeugen, besondert wenn der Faden sich etwas seitwärts von der Medianebene befindet. Einige Varianten dieses Versuchs werden weiter unten genauere Erörterung finden.

Während man einen geradeaus gelegenen etwa einen Fuss entfernten Punkt fixirt, halte man seitwärts, einige Zoll vom Auge entfernt, eine Münze oder eine grell gefärbte Oblate. Dieselbe wird leicht in Doppelbildern gesehen, welche gekreuzt, in verschiedener Entfernung und verschiedener Grösse erscheinen; das nähere Bild merklich grösser als das entferntere. Bei einiger Aufmerksamkeit wird man ferner finden, dass die Form der Doppelbilder nicht gleich ist, man sieht nicht zwei kreisförmige Münzen, sondern elliptisch geformte, von verschiedenen Verhältnissen der Axen, wie das den Regeln der Perspective entspricht. — Dadurch, dass man die Münze in verschiedene Stellungen bringt, kann man sich über die Tiefenunterschiede der beiden Projectionssphären unterrichten.

Bei Fixation eines in der Medianebene befindlichen Punktes in der

Entfernung von 8 Zoll hält man zur Seite ein Object, das sich durch schmale Form und auffallende Farbe gut zum Doppeltsehen eignet, etwa eine Nadel mit glänzendem Kopfe. Ist der Abstand der Nadel bedeutend grösser als der des Fixationspunktes, so sind die Doppelbilder gleichnamig, ist er namhaft geringer, so sind die Doppelbilder gekreuzt. Um nun die Grenze zu finden, wo die Doppelbilder weder gleichnamig noch gekreuzt sind, wo sie also entweder hintereinander stehen, oder zu einem einfachen Bilde verschmelzen, bewege man die Nadel unter Beibehaltung der Augenstellung langsam vorwärts und rückwärts, so dass sie die erwähnte Grenze jedesmal passiren muss. Man beobachtet alsdann, dass von der Ferne ausgehend, beim Annähern der Nadel die gleichnamigen Doppelbilder sich allmählich nähern und endlich zu einem Bilde zusammenfliessen. Man muss dann die Nadel ein gutes Stück, bisweilen einen Zoll und darüber, vorwärts bewegen, ehe man wieder zwei Bilder wahrnimmt, die dann gekreuzt sind und um so mehr auseinandertreten, je weiter die Annäherung der Nadel fortgesetzt wird. An den gekreuzten Doppelbildern ist es auch nicht gar zu schwierig, Tiefenunterschiede wahrzunehmen, indem das eine Bild schräg vor dem andern zu stehen scheint. Durch Wiederholung des Versuchs für verschiedene Excentricität der Netzhautbilder kommt man zu dem Resultate, dass es keine Fläche ist, in welcher einfach gesehen wird, sondern ein Raum, und zwar eine Zone von nicht unbeträchtlicher Tiefe. Es stimmt dies mit dem früheren Ergebniss überein, dass Doppelbilder nur dann auftreten, wenn der Tiefenabstand des Objects von dem des Fixationspunktes einigermassen erheblich unterschieden ist. Auf der Strecke, wo der seitliche Abstand der Doppelbilder in den Projectionssphären ein unbedeutender, der Tiefenabstand hingegen ein relativ grosser sein würde, verschmelzen die Doppelbilder zu einem einfachen Bilde, und es kann daher für diese Region das Hintereinanderstehen der seitlich wenig distanten Doppelbilder nicht beobachtet werden.

Versucht man den Raum, in welchem Einfachsehen statthat, genauer abzugrenzen oder gar zu messen, so stösst man auf grosse Schwierigkeiten. Die Grenze ist nicht jederzeit dieselbe; sie ändert sich, wenn man die Nadel langsamer oder schneller bewegt, während beim Stillhalten manchmal Einfach- und Doppeltsehen wechselt. So verhält es sich wenigstens bei mir, da ich in der Isolirung der Eindrücke weniger geübt bin als in der Combination; andere Beobachter werden, da individuelle Verschiedenheiten gewiss stattfinden, vielleicht etwas abweichende Resultate erlangen.

Will man nun wenigstens ungefähr die mittlere Region des Einfachsehens bestimmen, so sieht man bald, dass eine durch den Fixirpunkt der Angesichtsfläche parallel gelegte Ebene dem am wenigsten entspricht.

Die ellipsoidische intermediäre Projectionsfläche, welche ich oben beschrieben habe, scheint mir am besten mit dem Versuch zu harmoniren.

Claparède*) will durch einen ähnlichen Versuch (ein horizontal gehaltener, mit einem Knoten versehener Faden wird von einer Seite zur andern an den Augen vorübergeführt und die Stelle beobachtet, wo die sich einander nähernden Doppelbilder des Knotens zusammentreten) gefunden haben, dass der Müller'sche — oder wie Claparède ihn tauft — der Pierre Prévost'sche Horopterkreis der Ort des Einfachsehens sei. Die Lage desselben weicht nicht so bedeutend von der Lage des elliptischen Durchschnitts der intermediären Projectionsfläche ab, dass ich aus dem Versuche allein auf die Unrichtigkeit jener Ansicht schliessen möchte. Ein Widerspruch liegt aber schon darin, dass Claparède nur einen horizontalen Horopterkreis kennt, eine gekrümmte Horizontal fläche aber abweist, während das Ergebniss des Experiments ebenso gut über und unter der horizontalen Visirebene gelingt.

Jedenfalls ist es leicht, auf experimentellem Wege sich von der Krümmung der Zone des Einfachsehens zu überzeugen, und vielleicht werden sorgsam angestellte Versuche noch Näheres über die Art der Krümmung herausstellen.

Ein vorzüglich beweiskräftiges Experiment ist folgendes: Man lege ein passendes Object, etwa eine kleine Münze, vor sich auf den Tisch und fixire einen näheren Punkt. Das Object erscheint in gekreuzten Doppelbildern. Neigt man nun den Kopf nach einer Seite der Schulter, so sieht man die Doppelbilder ihren Platz verlassen, während der Fixirpunkt unverrückt bleibt. Die Bilder stehen nicht mehr bloss nebeneinander, sondern auch übereinander und hintereinander, d. h. in ungleicher Höhe und in ungleicher Entfernung — genau wie es der Lage der Augen zu ihren Projectionssphären entspricht.

Ich kann nicht umhin, an dieser Stelle einer Lehre entgegenzutreten, welche schon durch ihre binnen wenigen Jahren erlangte Verbreitung eine ausführlichere Besprechung verdient. Georg Meissner benutzte gewisse Phänomene des Doppeltsehens, welche er genauer verfolgte, und auf dem Boden der Identitätstheorie zu erklären suchte, um eine Anzahl der bedeutsamsten und umfangreichsten Aenderungen in die Physiologie des Sehens einzuführen. Er schuf eine ganz neue Horopterlehre, welche für die Deutung aller Erscheinungen des Doppeltsehens massgebend sein sollte. Die Identitätsverhältnisse der Netzhaut wurden viel genauer präcisirt, als es bis dahin der Fall gewesen war; und den Schlussstein des

*) l. c. pag. 404.

Ganzen bildete eine neue Lehre von den Augenbewegungen. Das Alles schien gestützt durch zahlreiche Versuche, die nach einer anscheinend sehr exacten Methode gewonnen und verwerthet wurden. Messungen und Rechnungen schienen das solide Fundament des neuen Gebäudes zu bilden. Allein trotz der grossen und rühmenswerthen Mühe, die aufgewendet worden ist, trotz mancher interessanter und werthvoller Einzelnheiten, mit welchen Meissner's Arbeit die Physiologie des Sehens bereichert hat, so müssen doch alle Hauptresultate als gänzlich unrichtig bezeichnet werden. Bereits sind von Claparède, der freilich selbst noch ganz auf dem Identitäts-Standpunkte steht und zu manchen irrigen Folgerungen gelangt, mehrere folgenreiche Unrichtigkeiten in der Meissner'schen Lehre aufgedeckt worden, ohne dass indessen derselbe genügende Erklärungen der interessanten Versuche an Stelle der angegriffenen zu setzen vermochte.

Den Meissner'schen Deductionen liegt eine Reihe von Versuchen zu Grunde, die sich dem Wesen und Principe nach auf einen einfachen Fundamentalversuch zurückführen lassen, der die ganze Last aller Consequenzen tragen muss. Dies ist folgender: Während ein Punkt in 8 — 10 Cm. Entfernung bei horizontaler Visirebene fixirt wird, befindet sich 2 Cm. hinter demselben in der Medianebene eine zur Visirebene senkrecht stehende Linie oder ein dünner Stab. Derselbe erscheint in Doppelbildern, von denen Meissner sagt*): „Die Doppelbilder der Theile des Stabes, welche oberhalb der Visirebene sich befinden, convergiren nach einem in gewisser Höhe über der Visirebene gelegenen Punkte; bei passend gewählten Entfernungen des fixirten Punktes und des Stabes selbst gewahrt man die rechtseitigen Doppelbilder sich kreuzen und oberhalb des Kreuzungspunktes als verkehrte Doppelbilder divergiren. Die Bilder der unterhalb der Visirebene gelegenen Theile des Stabes setzen die Richtung derjenigen des oberen Theiles fort: sie divergiren nach unten." Ferner: „Befindet sich der indirect gesehene senkrechte Stab vor dem fixirten Punkte, so erscheinen seine Doppelbilder ebenfalls gegeneinander geneigt, aber umgekehrt, wie vorher: sie convergiren gegen einen unterhalb der Visirebene gelegenen Punkt, kreuzen sich in demselben, um dann als rechtseitige Doppelbilder zu divergiren." Meissner benutzt diesen Versuch zur Ermittelung der Gestalt des Horopters, worunter er „den Theil des Raumes versteht, in welchem diejenigen Punkte liegen, welche gleichzeitig mit dem fixirten einfach gesehen werden." Er schliesst folgendermassen: „Alle rechtseitigen (gleichnamigen) Doppelbilder entsprechen Objecten, welche hinter dem Horopter liegen, alle verkehrten (gekreuzten) Doppelbilder Objecten, welche vor dem Horopter liegen. Die im Horopter selbst enthaltenen Punkte müssen

*) l. c. pag. 15.

(so schliesst Meissner mit Vernachlässigung des Tiefenabstandes der Doppelbilder) einfach gesehen werden. Der Abstand der Doppelbilder von einander soll das Maass sein für die Entfernung des Objects vom Horopter selbst. Dies wird auf den Versuch angewandt. In dem Kreuzungspunkte der Doppelbilder des Stabes ist der Abstand der Doppelbilder von einander $= o$, der betreffende Punkt des Stabes liegt also im Horopter. Der unter diesem Punkte gelegene Theil des Stabes befindet sich, da er in rechtseitigen Doppelbildern erscheint, hinter, der obere Theil, der verkehrtseitige Doppelbilder liefert, vor dem Horopter. Umgekehrt verhält es sich, wenn unter Beibehaltung des Fixirpunktes der Stab sich vor demselben befindet. Der Punkt, in dem die beiden nach unten convergirenden Doppelbilder sich kreuzen, ist wieder ein Punkt des Horopters. Nun sind drei Punkte des verticalen Horopterdurchschnitts gegeben; der Fixationspunkt, der obere und der untere Kreuzungspunkt der Doppelbilder des einmal vor, einmal hinter den Fixationspunkt aufgestellten Stabes. Die gerade Linie, welche diese drei Punkte verbindet, erklärt Meissner für den verticalen Durchschnitt der Horopterfläche. Eine Bestätigung dafür soll nun eine Modification des Versuchs liefern. „Es leuchtet ein," sagt Meissner, „dass, wenn dem Stabe eine solche Lage gegeben wird, dass er bei unendlicher Verlängerung weder oberhalb noch unterhalb der Visirebene den Horopter schneidet, er also selbst parallel der Richtung des Horopters liegt, seine Doppelbilder ebenfalls parallel untereinander erscheinen müssen, da dann alle Punkte des Stabes gleich weit vom Horopter entfernt sind, und folglich der Abstand der Doppelbilder aller Punkte gleich ist. Es handelt sich also nur darum, dem Stabe die geforderte Lage zu geben und dabei den Parallelismus der Doppelbilder so genau als möglich zu bestimmen: dann ist die Richtung des Stabes zugleich die des Horopters für den fixirten Punkt." Die Ausführung des Versuchs lehrt nun nach Meissner, dass die Convergenz der Doppelbilder sich vermindert und dieselben endlich parallel werden, wenn dem verticalen Stabe die obgedachte Neigung gegeben wird, sodass sein oberes Ende dem Beobachter ferner, das untere näher ist. Nun schliesst Meissner weiter: Die Bilder des Stabes fallen beim Fundamentalversuch in verticale grosse Kreise der Netzhaut. Die Krümmung der Netzhaut glaubt Meissner vernachlässigen zu dürfen, und er betrachtet daher die verticalen grossen Kreise in ihren Projectionen auf die Ebene als Parallellinien. Da nun dennoch die Doppelbilder des Stabes nicht parallel erscheinen, sondern in der bezeichneten Weise geneigt, so enthalten die besagten grösseren Kreise der Netzhaut nicht identische Punkte, sondern die Trennungslinien identischer Retinahälften sind in umgekehrtem Sinne geneigt. Eine Stellungsveränderung der Bulbi, eine auf die Sehaxen projectirte Drehung muss also von der Primärstellung aus, in der jene

Trennungslinien vertical waren, stattgefunden haben. Messungen der Winkel, unter denen die Doppelbilder bei verschiedenen Augenstellungen gegeneinander geneigt sind, geben nun Meissner die Data zu Berechnungen über die Lage des Horopters der Trennungslinien und demnächst über die Bewegungen der Augen.

Die Stichhaltigkeit dieser Beweisführung muss in verschiedenen Punkten beanstandet werden. Zuvörderst kann ich mich mit den zu Grunde liegenden Beobachtungen, deren Richtigkeit auch von Claparède bestritten worden ist, nicht einverstanden erklären.

Befindet sich in Meissners Fundamentalversuch der senkrecht gehaltene Stab jenseits des fixirten Punktes, und ist die Visirebene genau horizontal, so nehme ich durchaus keine Neigung der Doppelbilder wahr; dieselben erscheinen vollkommen parallel. Erst wenn der Fixirpunkt bei verticalem Stabe über oder unter die Horizontalebene rückt, oder wenn der Stab seine senkrechte Lage verlässt, erscheinen die Doppelbilder gegeneinander geneigt. Rückt nämlich der Fixirpunkt nach unten, so convergiren die Doppelbilder nach oben, rückt ersterer nach oben, so convergiren letztere nach unten. Jede Neigung des Stabes mit dem oberen Ende nach hinten, dem unteren nach vorn, vermehrt den Abstand der oberen Theile der Doppelbilder; jede Neigung in umgekehrtem Sinne vermehrt den Abstand der unteren Theile der Doppelbilder. Waren die Doppelbilder parallel, so werden sie durch erstere Neigung nach unten, durch letztere Neigung nach oben convergent. Waren die Doppelbilder nach oben convergent, und das ist der von Meissner zunächst berücksichtigte Fall, so macht eine hinreichende Neigung im ersteren Sinne sie parallel. — Ist die Neigung der Doppelbilder gegeneinander so stark, dass sie in einem Punkte zusammentreffen, so sehe ich doch kaum je eine wirkliche Kreuzung, vielmehr scheinen die Bilder von dem Berührungspunkte an in einander überzugehen und zu einem einfachen, in der Medianebene gelegenen Stabe zu vereinigen. Die Doppelbilder bleiben also stets gleichnamig, werden nicht ungleichnamig oder verkehrt.*) (Dass andere Beobachter eine wirkliche Kreuzung der Doppelbilder wahrnehmen, will ich keineswegs in Abrede stellen, auch steht das, wie man sehen wird, mit meiner Erklärung des Versuchs keineswegs im Widerspruch.) Noch muss ich bemerken, dass, namentlich wenn der Stab lang und dünn ist (Stricknadel), oder wenn man sich dünner Linien oder Fäden bedient, an den Doppelbildern sehr leicht Krümmungen zu erkennen sind. Wo die Krümmung stark und deutlich hervortritt, bemerkt man,

*) Ich erinnere hier an die von v. Graefe mehrfach in pathologischen Fällen beobachtete „Scheu vor gekreuzten Doppelbildern." Beiläufig bemerkt ist die im Texte besprochene Beobachtung, die sich in noch reinerer Weise an dem pag. 103 beschriebenen Versuche machen lässt, einer der stärksten Beweise gegen die Identitätslehre, mit der das theilweise Verschmelzen der Bilder geradezu unvereinbar ist.

dass sie nicht sowohl eine seitliche ist, sondern der Tiefe nach stattfindet, so dass die Concavität des gekrümmten Bildes dem betreffenden Auge zugekehrt ist. Wenn die sich berührenden Doppelbilder theilweise zu einem einfachen Bilde verschmelzen, sieht man nicht gebrochene Linien, sondern die Vereinigung scheint in seichten Krümmungen zu geschehen. — Jedem wird sich die Analogie dieser Erscheinungen mit gewissen früheren stereoskopischen Versuchen aufdrängen.

Es fragt sich nunmehr, wie sich die beschriebenen Phänomene erklären lassen; ob insbesondere die Identitätstheorie und die von Meissner aufgestellte Hypothese der auf die Sehaxen projicirten Bulbusdrehung zum Verständniss nothwendig ist. Ich muss Letzteres entschieden verneinen, glaube hingegen, dass meine oben im Allgemeinen auseinandergesetzte Auffassung auch für diese Versuche eine in allen Theilen genügende, vollkommen rationelle Deutung gewährt.

Der Meissner'sche Grundversuch gehört in die Kategorie von Fällen, wo das Doppeltsehen deshalb besonders leicht und deutlich wahrnehmbar ist, weil die Netzhautbilder auf entgegengesetzte Netzhautflächen fallen (cf. pag. 98), d. h. weil das indirect gesehene Object innerhalb des von den verlängerten Sehaxen eingeschlossenen Winkels liegt. Aus diesem Grunde eignet sich der in Rede stehende Versuch vorzüglich zum Studium des physiologischsn Doppeltsehens und verdient in der That den Namen eines Fundamentalversuchs. — Die nach aussen projicirten Netzhautbilder des Stabes werden, da sie an dem wahren Orte des Stabes nicht zur Deckung gelangen können, mit den ihnen zukommenden perspectivischen Verziehungen in gleiche Entfernung, d. h. in die Projectionssphäre jedes Auges verlegt. Die Entfernung der Projectionssphären wird zunächst bestimmt durch den Fixationspunkt. Der Einfluss psychischer Thätigkeit auf die Projection ist hier gering und kann ausser Acht gelassen werden, da es sich nicht um die absolute Entfernung der Doppelbilder handelt, sondern um ihre relative Lage. Nehmen wir also an, die beiderseitigen Projectionssphären gehen durch den fixirten Punkt. Die Doppelbilder werden dann als Sehnen, oder richtiger als Bögen in grössten Kreisen der Projectionssphären gedacht werden müssen. Es kommt Alles darauf an, die Lage derselben im Raume sich genau zu vergegenwärtigen. Zur Unterstützung der Anschauung kann derjenige, dem stereometrische Vorstellungen nicht geläufig sind, mit Vortheil einen Apparat anwenden, welcher aus zwei ineinander greifenden, die Projectionssphäre bedeutenden, Kugeln besteht (v. Hasner hat zu ähnlichen Zwecken einen solchen Apparat aus Glas construirt), auf denen man die Bilder aufzeichnet. Man versinnlicht sich auf diese Weise sehr vollkommen die Lage der Doppelbilder im Raum und vermag aufs Genaueste die Uebereinstimmung zwischen Theorie und Experiment zu prüfen.

Wo zwei Ebenen, welche durch den Stab und die beiden Centra der Projectionssphären gelegt sind, die Projectionssphären schneiden, da wird das Bild des Stabes sein; ich nenne solche Ebenen der Kürze halber projicirende Ebenen.

Steht der doppelt gesehene Stab auf der Verlängerung einer den Fixirpunkt mit dem Mittelpunkt der Grundlinie verbindenden geraden Linie in der Medianebene senkrecht, so werden die projicirenden Ebenen die Projectionssphären in grössten Kreisen schneiden, welche einander in keinem Punkte treffen. Die Bilder des Stabes als Sehnen dieser Kreise betrachtet, werden einander parallel sein. Wird dagegen der Stab mit dem oberen Ende dem Beobachter zugeneigt, so werden die Schnittkreise der projicirenden Ebenen und der Projectionssphären und daher auch die Doppelbilder des Stabes sich mit ihren oberen Enden gegeneinander neigen und wenn die Neigung stark genug ist, sich schneiden. Bei solcher Neigung des Stabes, dass das untere Ende dem Beobachter näher ist, werden jene Schnittkreise, und mit ihnen die Doppelbilder, mit ihren untern Enden einander genähert; sie convergiren nach unten.

Bleibt der Stab in verticaler Richtung d. h. parallel der Angesichtsfläche und in der Medianebene, senkt sich aber der Fixirpunkt und so auch die ganzen Projectionssphären, so werden die Schnittkreise der projicirenden Ebene wieder mit ihren oberen Enden convergiren. Steigt aber der Fixirpunkt über die Horizontalebene, so convergiren die Schnittkreise mit ihren unteren Theilen.

Bei beiden Arten der Veränderung in der Lage des Stabes relativ zu den Projectionssphären hängt der Neigungswinkel der die Doppelbilder enthaltenden Schnittkreise ab von dem Winkel, den der Stab mit der verlängerten Verbindungslinie des Fixirpunktes und des Mittelpunktes der Grundlinie oder was dasselbe ist, mit der Visirebene bildet.

Ich will hier nicht die einzelnen Fälle mathematisch durchführen, weil ich zweifle, dass die Formel den Gegenstand dem Verständniss näher bringt als die Anschauung. Beispielsweise setze ich nur die Hauptformel her, aus der sich die übrigen ableiten lassen. Bei geneigter Visirebene werde ein in die Medianebene jenseits des Fixirpunktes befindlicher verticaler Stab doppelt gesehen, und es wird der Ausdruck für die Neigung des Doppelbildes gesucht. Derselbe ergiebt sich aus einem rechtwinkligen sphärischen Dreieck, welches gebildet wird 1) durch den Schnittkreis der Projectionssphäre, welcher geliefert wird, wenn eine verticale Ebene durch den Mittelpunkt der Projectionssphäre und den Fixirpunkt gelegt wird; 2) durch den Schnittkreis einer auf der vorigen Ebene senkrecht stehenden und gleichfalls durch den Mittelpunkt der Projectionssphären und den Fixirpunkt gelegten Ebene; 3) durch die projicirende Ebene des indirect gesehenen Stabes.

Von diesem rechtwinkligen sphärischen Dreieck sind beide Catheten bekannt, die eine ist $= 90^0 + \alpha$, wenn α der Neigungswinkel der Visirebene gegen den Horizont ist, die zweite $= \beta$, gegeben durch oder abzuleiten aus der Entfernung des Fixirpunktes vom Auge und von dem Stabe. Gesucht wird der Winkel, welcher der letzteren

Cathete gegenüberliegt, d. h. der Neigungswinkel φ des Doppelbildes gegen die Verticale. Aus jenem Dreiecke ergiebt sich für diesen Winkel φ die Relation:

$$\text{tang } \varphi = \frac{\text{tang } \beta}{\cos \alpha}$$

Man sieht wie diese Ergebnisse den obigen Resultaten der Beobachtung durchaus conform sind, und wie sich die Neigung des Doppelbildes aufs vollständigste und wie ich glaube aufs einfachste erklärt. Die Schiefheit der Doppelbilder ist nothwendige Folge der perspectivischen Projection auf die Netzhäute, und der Rückprojection in die concentrischen Projectionssphären. Auch die Art der Krümmung der Doppelbilder bietet keine Schwierigkeit, jede gerade Linie muss im Doppelbilde eine der kugeligen Projectionsfläche entsprechende Krümmung annehmen, deren Concavität nach dem Mittelpunkt der Kugel d. h. nach dem Auge sieht.

Es bliebe nur noch zu untersuchen, weshalb wenigstens von einem Theile der Beobachter nicht eine wirkliche Kreuzung der Doppelbilder sondern theilweises Einfachsehen beobachtet wird, in Fällen wo obiger theoretischer Betrachtung zufolge die Schnittkreise der projicirenden Ebenen mit den Projectionssphären, welche die Doppelbilder enthalten, sich in der That kreuzen müssen. Da mit der Vereinfachung des Stabes zugleich Aufhören der Schiefheit und der Krümmung, und Wahrnehmung am wahren Ort verbunden ist, so handelt es sich nicht etwa um Vernachlässigung eines Doppelbildes und Zurückbleiben des andern, sondern um ein so legitimes Verschmelzen, wie nur je bei binocularem Sehen. Hiervon kann man sich auch dadurch überzeugen, dass man abwechselnd ein Auge schliesst. Man bemerkt dann, wie auch der vorher einfach und gerade gesehene Theil des Stabes an der Krümmung und Schiefheit Theil nimmt. Es fragt sich also, ob bei dem theilweisen Einfachsehen die Bedingungen hinweggeräumt sind, welche in Bezug auf die doppelt gesehenen Theile des Stabes die Projection in die richtige Entfernung hinderten. — Das Einfachsehen im Schnittpunkte der Doppelbilder darf uns nicht Wunder nehmen, da man sich leicht vergegenwärtigen kann, dass in allen oben erwähnten Fällen der Punkt, in welchem die geneigten Doppelbilder sich schneiden oder verlängert sich schneiden würden, stets da liegt, wo das gesehene Object, der Stab, die Projectionssphären (und zwar beide Sphären in ihrem in der Medianebene befindlichen Schnittkreise) schneidet oder verlängert schneiden würde. Dieser eine Punkt des Stabes befindet sich also unter Bedingungen, wo er einfach und an seinem wahren Orte gesehen werden muss. Dass nun von diesem Berührungspunkte der Doppelbilder an noch für einen weiteren Theil, des Stabes die Projection in die der Wirklichkeit entsprechende Entfernung anstatt der Projection in die Projectionssphären möglich ist, hat wohl darin seinen Grund, dass das Object in dem noch sichtbaren Theile sich wenig von den Projectionssphären entfernt und somit eine Hauptbedingung

für das Doppeltsehen — erheblicher Abstand des indirect gesehenen Objects vom Fixationspunkt — fortfällt. Wenn die diesseits der Projectionssphären befindliche Portion des Stabes bedeutender ist, wenn z. B. sowohl die diesseits als jenseits gelegnen Portionen ungefähr gleich gross sind; dann sieht man wirklich zwei sich kreuzende Stabbilder, von denen ein Theil in gleichnamigen, der andre in ungleichnamigen Doppelbildern erscheint (cf. den Versuch pag.). Es ist bemerkenswerth, dass nur in dem erwähnten Falle der Zusammenhang der Bilder durch die Projection dergestalt gestört wird, dass eine gerade Linie gebrochen erscheint. Diese Möglichkeit scheint ein Privilegium der die Projectionssphären passirenden Objecte zu sein. Eine specifische Abneigung gegen ungleichnamige Doppelbilder liegt hier nicht zu Grunde; denn befindet sich der grössere Theil des Stabes diesseits des Fixationspunktes und ein kleinerer ausserhalb der Projectionssphären, so sehe ich auch hier den kleineren Theil einfach, den grösseren in ungleichnamigen Doppelbildern (die Brechung des Stabes ist hierbei sehr auffallend). Vielleicht darf also eine Abneigung, eine und dieselbe Linie zugleich in gleichnamigen und ungleichnamigen Doppelbildern zu sehen, angenommen werden. Einen ganz ähnlichen Zwiespalt haben wir bei stereoskopischen Versuchen kennen gelernt. Die Neigung zur Verschmelzung und zwar in nicht gar zu verschiedenen Abständen, stand auch dort gegenüber der Neigung, die Bilder beim Verschmelzen nicht ihres Charakters zu berauben. Von graduellen Umständen hing es auch dort ab, welche Tendenz obsiegte.

Von einer in der Medianebene von den Augen nur wenige Zoll entfernten, auf der horizontalen Visirebene senkrecht stehenden Linie behauptet Meissner, sie werde bei Fixation des Mittelpunkts in Doppelbildern gesehen, welche sich im Fixirpunkte kreuzen. Wird die Visirebene um 45° abwärts geneigt und steht die gesehene Linie wieder senkrecht auf dieser Visirebene, so soll nach Meissner Einfachsehen stattfinden. Ich bin nicht im Stande in beiden Fällen den geringsten Unterschied zu beobachten, sondern sehe einmal wie das andere einfach. Vielleicht finden hier individuelle Verschiedenheiten statt, bedingt durch die Lage des muskulären Mesoropters?

Wenn schon in Bezug auf die Doppelbilder verticaler Objecte Meissner's Beobachtungen mehrfach der Berichtigung bedurften, so ist dies in noch höherem Maasse der Fall bei seinen Angaben über die Doppelbilder horizontaler Linien; die wenigstens mit meinen Beobachtungen ganz und gar nicht übereinstimmen. — Eine horizontale Linie in der horizontalen Visirebene, deren Mittelpunkt fixirt wird, will Meissner in Doppelbildern sehen, welche ein flaches liegendes Kreuz bilden. Niemals ist mir das gelungen. Horizontale d. h. der Grundlinie parallele Linien erscheinen mir stets einfach, mag ich nun einen in ihr selbst *gelegenen oder einen* vor, hinter, über oder unter ihr befindlichen Punkt

fixiren. Dies stimmt mit allen bisherigen Thatsachen, auch den in dieser Hinsicht sehr instructiven stereoskopischen Versuchen überein. Die projicirenden Ebenen der Netzhautbilder horizontaler Linien fallen in eine gemeinschaftliche Ebene zusammen; die Doppelbilder der einzelnen Punkte müssten also gerade hintereinander liegen. Wir wissen bereits, wie gross in solchen Fällen die Neigung zur Verschmelzung der Doppelbilder ist. Nichtsdestoweniger wäre es nicht undenkbar, dass eine besondere Fähigkeit und beharrliche Einübung auf isolirte Projection es möglich machen könnte, die Combination der beiden Netzhautbilder zu verhindern und beide in die Projectionssphären zu verlegen, und auf eine solche Möglichkeit könnten auch einige dunkle Aeusserungen Meissners (l. c. p. 50) schliessen lassen. Allein die Angaben Meissners stimmen hierzu keineswegs. Eine leichte Kreuzung der Bilder liess sich bei Fixation eines sehr nahen Punktes, also beim Verweilen in ungewohnter Stellung vielleicht durch eine Art von Störung des Muskelgefühls erklären, durch einen Irrthum über die Augenstellung, wie derselbe ja in ähnlichen Fällen nachweisbar vorkommt (cf. den nächsten Abschnitt). Eine Menge Details jedoch (z. B. die succesiven Veränderungen des Kreuzungswinkels der Bilder, welche Meissner in Bezug auf mehrere Experimente der angeführten Art beschreibt, als wären es constante und regelrechte Erscheinungen*), lassen sich durchaus nicht erklären. Weder vermag ich Gleiches zu beobachten; auch habe ich jene Angabe von Niemandem bestätigen hören. Entweder es bestehen gewaltige individuelle Verschiedenheiten, und es stehen noch wichtige Aufschlüsse darüber bevor; oder, was ich in der That für viel wahrscheinlicher halten muss, Meissner hat an der Hand seiner Theorie mehr gesehen, als er ohne dieselbe gesehen haben würde. Gesetzt den Fall, Meissner beobachte deshalb mehr wie Andere, weil sein Sehorgan in diesem Punkte vorzugsweise begünstigt und geübt sei, so hätten ihm die wichtigen Tiefenunterschiede der Doppelbilder nicht entgehen können.

Einen ganz entscheidenden Versuch berühre ich noch mit zwei Worten. Ein rechtwinkliges Kreuz werde so gehalten, dass der horizontale Schenkel der Grundlinie parallel sei. Wird nun ein näherer (oder fernerer) Punkt fixirt, so erscheint zwar der verticale Schenkel des Kreuzes vollkommen deutlich doppelt, und zwar in Bildern, die je nach der Stellung des Schenkels in der verschiedensten Weise gegen einander geneigt sind; der horizontale Kreuzschenkel aber bleibt unverändert einfach

Nach dieser Interpretation der Versuche wird es begreiflich sein, dass ich allen weiteren Resultaten der Meissnerschen Deductionen nich zustimmen kann. Neben der in vielen Punkten ungenauen Beobachtung sind es zwei Hauptirrthümer, die alle Schlussfolgerungen in Bezug auf

*) Cf. l. c. p. 50—53.

den Horopter und auf die Augenbewegung nichtig machen, freilich Irrthümer, die Meissner nicht ausschliesslich zukommen. Es ist die Identitätstheorie und die unbewiesene Voraussetzung, dass es einen Horopter gebe, einen Raum oder eine Fläche, deren Inhalt allein einfach gesehen würde. Die schlimmste Stelle in der Beweisführung enthält der Schluss auf die von der Senkrechten abweichenden Stellung der Trennungslinie identischer Netzhauthälften. Hierin liegt ein vollständiger Umsturz dessen was wir über die Richtung des Sehens wissen, und was schon seit Jahrhunderten richtig erkannt ist. Meissner behauptet, ein Bild eines senkrechten Gegenstandes falle zwar auf der Netzhaut in die senkrechte Linie *ab* (Fig. 24. Taf. III.); *ab* aber sei wegen der augenblicklichen Stellung des Bulbus nicht die verticale Trennungslinie der seitlichen identischen Netzhauthälften; dieses sei vielmehr *cd*; und ein Bild, das in *cd* falle, werde senkrecht wahrgenommen; die Wahrnehmung der senkrechten Richtung gehöre ausschliesslich dieser Linie an (auch bei gebückter oder liegender Stellung?). Um wieviel also die Linie *ab* von der Linie *cd* abweicht, nämlich um den Winkel *aec*, um so viel soll in Wirklichkeit das Doppelbild in umgekehrter Richtung gegen die Senkrechte geneigt erscheinen. Man sieht, von geradliniger Projection ist dann keine Rede mehr. Die Linie des Doppelbildes und die Linie des Netzhautbildes liegen nicht mehr in einer Ebene. Das Problem des um die Ecke Sehens ist gelöst. Die Quelle des Irrthums liegt offenbar darin, dass Meissner die Netzhaut und ihre Bilder ohne Weiteres als eben betrachten zu dürfen geglaubt hat, ohne dann für die Nachaussenverlegung die nöthige Correction anzubringen.

Alles, was nun weiter über die Augenbewegungen geschlossen wird, fällt natürlich mit dem Fundament. Die Lehre von den Primär-, Secundär- und Tertiärstellungen, mit so vielem Scharfsinn und so viele Consequenz sie durchgeführt ist, muss um so mehr fallen gelassen werden als sie mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen, z. B. der Donders'schen Prüfung der Augenbewegungen durch Nachbilder im Widerspruch steht. Die anderweitigen Beweismittel, welche Meissner für seine Theorie producirt hat, stützen sich zum Theil auf sehr unsichere Beobachtungsmethoden, auf deren Kritik ich an dieser Stelle nicht weiter eingehen kann.

Einige Worte widme ich an dieser Stelle einem Versuche, der vielleicht nicht ganz hierher gehört, weil er sich nicht gerade auf Doppelt sehen bezieht. Doch bildet er einen schätzbaren Beitrag zur Kenntnis der Projectionsweise bei einseitigem Sehact und verdient auch desshalb Erörterung, weil er mehrfach Missdeutungen erfahren und zuletzt noch v. Recklingshausen in seinen fleissigen Untersuchungen irre geführt hat.

Man lege ein rechtwinkliges Kreuz gerade vor sich hin auf einen Tisch, so dass der eine Schenkel in die Medianebene fällt. Schliesst

man nun das eine Auge und schaut mit dem andern bei unveränderter Kopfstellung das Kreuz an, so bemerkt man leicht, dass dasselbe etwas unregelmässig und verzogen erscheint. Die vier Winkel sind nicht rechte, sondern der auf Seite des geöffneten Auges gelegene obere Quadrant ist etwas mehr, der untere etwas weniger als ein rechter. Rückt man das Kreuz auf der horizontalen Tischplatte von sich ab, so nimmt die Verziehung zu; rückt man es gegen sich zu, so nimmt die Verziehung ab. Trägt man nun Sorge, dass die Ebene des Kreuzes genau parallel der Angesichtsfläche ist und dass der Mittelpunkt des Kreuzes dem Mittelpunkte der Grundlinie gerade gegenüber steht, so erscheint das Kreuz regelmässig in Bezug auf die Winkel. Jede Neigung der Ebene des Kreuzes bringt aber wiederum Verziehung hervor und zwar in entgegengesetztem Sinne, je nachdem die Ebene nach vorn oder hinten geneigt wird. Im ersteren Falle verhält sich die Verziehung wie oben, d. h. der Winkel des auf Seite des anschauenden Auges befindlichen oberen Quadranten beträgt mehr als 90°.

Ausser der ungleichen Grösse der Winkel bemerkt man noch eine äusserst leichte Krümmung der Schenkel des Kreuzes, die sich je nach der Haltung verschiedentlich gestaltet. Für den ersterwähnten Fall des auf dem Tische liegenden Kreuzes sind die horizontalen Schenkel ein wenig nach oben, die verticalen Schenkel ein wenig nach der Seite des betrachteten Auges gekrümmt.

v. Recklingshausen sucht das Ergebniss des Versuchs, der übrigens nicht ganz correct bei ihm angegeben ist; durch Irregularitäten in den brechenden Medien zu erklären, und zwar will er die von Helmholtz beobachtete Schiefstellung der Hornhaut gegen die Gesichtslinie hierzu benutzen. Abgesehen von manchen Ausstellungen, welche im Einzelnen an den Deductionen zu machen sind, und auf die ich hier nicht einzeln eingehen kann, haben wegen der ungenügenden Berücksichtigung der perspectivischen Verziehung die Resultate einen sehr zweifelhaften Werth.

Alle jene Erscheinungen, aus denen v. Recklingshausen sehr gewagte Schlüsse auf störende Einflüsse der brechenden Medien und weiterhin auf die Lage der Identitätspunkte ziehen zu dürfen meint, erklären sich aufs Vollständigste durch die perspectivische Verziehung und die Krümmung des Netzhautbildes und durch die Projection eines dem Netzhautbilde geometrisch ähnlichen Bildes in die kugelförmige Projectionsfläche. Da die hier auftretenden Gesetze mit den für die Doppelbilder geltenden zusammenfallen, brauche ich sie nicht zu wiederholen, und komme nur beispielsweise mit zwei Worten auf den Eingangs erwähnten Fall zurück, wo das mit einem Auge angeschaute Kreuz auf dem Tische liegt. Der horizontale, der Grundlinie parallele Schenkel des Kreuzes bildet sich in einem Grundlinienmeridiane der Netzhaut ab, der verticale Schenkel in

einem Meridiane, der auf jenem Grundlinienmeridiane keineswegs senkrecht steht, sondern mit seinem obern Ende nach innen geneigt ist, um so bedeutender geneigt, je spitzer der Winkel ist, welchen die Sehaxe mit der Ebene des Tisches bildet. Eine perspectivische Verziehung muss also nothwendig gesehen werden, und erst nach Berücksichtigung einer solchen liesse sich auf einen etwaigen störenden Einfluss der brechenden Medien auf die Netzhautbilder schliessen.

Will man sich auf eine einfache Weise den Einfluss der Perspective anschaulich darstellen, so ist folgendes Mittel brauchbar. Während ein Object, etwa das Kreuz in der oben erwähnten Stellung mit einem Auge betrachtet wird, halte man zwischen Auge und Kreuz eine Glastafel, senkrecht auf der Sehaxe, notire dann auf dem Glase die Richtung, in der die Linien des Kreuzes gesehen werden. Die dadurch auf dem Glase entstehende Figur ist bis auf die Krümmung dem Bilde der Projectionssphäre ähnlich, und man erkennt daran sofort die Abweichung von dem wirklichen Kreuze. — Um sich auch die Krümmung der Kreuzschenkel zu versinnlichen, gebe man zwei Drahtstücken eine halbkreisförmige Biegung und befestige sie so aneinander, dass sie die sich kreuzenden Meridiane der Projectionssphäre darstellen, denen die Bilder der Schenkel angehören. Dieser einfache Apparat, in die richtige Stellung gebracht, demonstrirt dann leicht die Art der Krümmungen in Uebereinstimmung mit dem Ergebniss des Versuchs.

Oben wurde auf Grund der zur richtigen Ortswahrnehmung durch das Sehorgan überhaupt erforderlichen Bedingungen alles Doppeltsehen in zwei Hauptklassen geschieden, je nachdem es auf Verlegung der Netzhautbilder in falsche Richtung oder in falsche Entfernung beruht. Gute Gründe sprachen dafür, die Erörterung der letzteren Klasse, ob ihr gleich der zweite Platz zu gebühren scheint, voranzuschicken. Schon dass, wenn die Richtung des Sehens eine falsche ist, zugleich die Entfernung oft unrichtig, mindestens aber unsicher wahrgenommen wird, rechtfertigt die eingeschlagene Methode, für die sich weitere Gründe alsbald ergeben werden. Es folgt jetzt die Betrachtung desjenigen Doppeltsehens, welches in der Projection in falscher Richtung seinen Grund hat.

Was die zur Wahrnehmung der Richtung, in der ein Object gesehen wird, erforderlichen Elemente anlangt, so will ich mich mit Beweisen für die geradlinige Projection hier nicht aufhalten. Der Ort des Netzhautbildes und der Kreuzungspunkt der Visirlinien sind es, welche für die Richtung des Sehens bestimmend sind. Um ersteren, den Ort des Netzhautbildes zu kennen, müssen wir orientirt sein, einmal über die *gereizten Punkte* der Netzhaut, sodann über die Stellung der Netzhaut

als Ganzes. Man hat, wie mir scheint, mit Unrecht daran gezweifelt, ob der Ort der Reizung beim Sehen zum Bewusstsein komme, ob wir wissen, welche Fasern der Netzhaut vom Bilde getroffen werden. Noch in neuester Zeit behauptet Funke, „dass die Lage der Netzhauttheilchen gar nicht auf die Seele wirken könne"*). So gut wie ich weiss, ob mein Arm oder Bein oder Rücken berührt wird, oder welche Stelle des Rückens, eben so weiss ich auch, welche Stelle der Netzhaut von dem Bilde getroffen wird. Eine Gesichtsanschauung oder Controlle habe ich von der Haut des Rückens eben so wenig wie von der Netzhaut. Von ersterer Reizung schliesse ich auf den berührenden Finger, von letzterer auf das Gesichtsobject, je nach der Qualität der Empfindung. Dass die Localisation der Netzhaut viel feiner ist als an irgend einer Stelle der Hautdecken, ist durch den anatomischen Bau ja hinlänglich klar. — Die Kenntniss von der Lage der Netzhaut als Ganzes wird durch das Muskelgefühl vermittelt. Der in jedem Augenblick aufgewendete Spannungsgrad des äusseren Augenmuskelapparats (und weiterhin auch der Muskulatur des übrigen Körpers) belehrt uns über die jedesmalige Stellung des Auges, also über die Lage der von einem Bilde gereizten Netzhautstelle.

Der Kreuzungspunkt aller Visir- oder Projectionslinien ist erst vor Kurzem richtig bestimmt worden. Früher identificirte man ihn gewöhnlich mit dem Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen, oder genauer mit der auf einen Punkt reducirt gedachten Knotenpunktsregion. Helmholtz wies nach, dass dies nicht zulässig sei, dass der Kreuzungspunkt der Visirlinien sich im Mittelpunkte des Hornhautbildes der Pupille befinde. Ausführlichere Untersuchungen scheinen hierüber noch nicht gemacht zu sein, daher ich mich mit dieser Angabe begnüge. Es darf wohl angenommen werden, dass die Kenntniss von der Lage dieses Kreuzungspunktes gleichfalls durch das Muskelgefühl oder mit andern Worten durch das Bewusstsein von der Stellung der Augen gegeben werde. Auf welche Weise ursprünglich die Kenntniss von diesem Punkte erworben werde, dies zu untersuchen ist hier nicht der Ort. Nur die Bemerkung möge gestattet sein, dass ohne Zweifel Erfahrung und Gewohnheit hier die Hauptrolle spielen, was schon dadurch bezeugt wird, dass Aenderungen der auf die Lage des erwähnten Punktes influirenden Momente keine falsche Auffassung der Objecte oder doch baldige Ausgleichung einer solchen zur Folge haben. Acquisite Veränderungen im Bau des Auges, Myopie, Linsenverlust haben keine dauernden Täuschungen über Richtung und Grösse der Sehobjecte zur Folge; eine Brille, welche anfangs vergrössert oder verkleinert, stört nach längerem Gebrauche die richtige Grössenschätzung nicht, wahrscheinlich weil jetzt der

*) *Lehrbuch der Physiologie.* 2. Aufl. II. pag. 308.

Kreuzungspunkt der Projectionslinien an die angemessene Stelle verlegt wird.

Der Grad von Schärfe und Sicherheit, welche wir dem Muskelgefühl der Augenmuskeln beizulegen haben, ist nicht unter allen Umständen derselbe. Auf der einen Seite scheint die Genauigkeit und Zuverlässigkeit eine ausserordentlich grosse zu sein, namentlich wenn die Muskelapparate beider Augen zusammenwirken, und demzufolge urtheilen wir im Allgemeinen sehr richtig und bestimmt über Richtung, Entfernung, Grösse, mit einem Wort über den Ort eines Sehobjects — andererseits kann, wie manche Versuche lehren, unter normalen Verhältnissen eine offenbare Alienation des Muskelgefühls bestehen, ohne dass wir etwas davon wissen. Aus diesem bisjetzt noch wenig bebauten Gebiete kann ich nur einzelne Thatsachen herausgreifen, um an ihnen zu beweisen, einen wie wichtigen Factor wir beim Sehen in dem Muskelgefühl zu berücksichtigen haben.

Ein einfaches und sehr bekanntes Mittel, sich Doppeltsehen zu erzeugen, ist die mechanische Verschiebung eines Bulbus durch leichten Druck mit dem Finger. Man kann dadurch das Doppelbild nach jeder beliebigen Richtung und um eine beliebige Strecke von dem wahren Orte des Bildes abweichen lassen. Die Erklärung machte Niemandem Scrupel. Durch die Ortsveränderung des Bulbus, — die je nach der Art des angebrachten Druckes oder des Zerrens an der Conjunctiva sowohl in Verrückung des Drehpunktes als in einer Rotation des Bulbus um den normalen Drehpunkt bestehen kann — fällt das Netzhautbild eines vorher fixirten Objects nun nicht mehr auf die Stelle der Netzhaut, die mit der Bildstelle im andern Auge identisch ist und entsprechend der Excentricität der nun in Folge der Dislocation getroffenen Netzhautstellen wird das Bild an einen falschen Ort verlegt.

Ich bringe meine Erklärung, ehe ich Einwendungen gegen diese Auffassung mache. Durch die mechanische Einwirkung auf den Bulbus wird das Bewusstsein von der Stellung desselben gestört, gefälscht; denn wir sind von der Stellung nur durch die aufgewendete Spannung der Muskeln unterrichtet, nicht aber vermögen wir eine durch fremde Gewalt verursachte Locomotion zu beurtheilen. Wir werden also nach wie vor mit der Netzhaut in derjenigen Stellung uns zu befinden glauben, welche der bestehenden Muskelcontraction entspricht. Demgemäss projiciren wir dann auch nach aussen und natürlich um ebenso viel falsch, als die mechanische Verschiebung beträgt. Hätten wir z. B. durch einen geeigneten Druck auf das untere Lid das eine Auge nach oben rotirt, so würden wir dennoch vermeinen, uns noch in der alten tieferen Stellung zu befinden. Das Netzhautbild, welches in der angemessenen Richtung projicirt, sich mit dem Bilde des anderen Auges an dem wahren Ort des Objects decken müsste, wird nun, da wir der vom Bilde getroffenen *Netzhautstelle einen* falschen Ort beilegen, in eine Richtung projicirt,

welche um einen eben so grossen Winkel von der richtigen abweicht, als die Netzhaut aus ihrer Stellung gewichen ist. Die Verschiebung betrifft das ganze Gesichtsfeld, und es werden daher alle Gegenstände doppelt gesehen. — Ist die künstliche Deviation des Bulbus eine rein seitliche, und sehr geringe, so braucht nicht Doppeltsehen zu erfolgen. Beide Bilder werden dennoch vereinigt, aber an einem der Wirklichkeit nicht genau entsprechenden Orte, wovon man sich leicht beim Nachlassen des Drucks überzeugt.

Der Beweiss, dass sich das Bewusstsein von der Augenstellung wirklich nicht geändert hat, geht ganz klar daraus hervor, dass wir, wenn wir die Verschiebung des Auges ausführen, die Gegenstände sich bewegen sehen. Ebenso treten die Gegenstände durch eine Bewegung wieder an den alten Platz zurück, wenn wir den Fingerdruck aufhören lassen. Die Bewegung also, die das Auge erleidet, legen wir der Aussenwelt bei, glauben also, wie mir das ganz evident zu sein scheint, das Auge in einer anderen Stellung, als es wirklich inne hat.

Die Identitätslehre kann die scheinbare Bewegung der Gegenstände nicht erklären; denn dass ein Bild eine Reihe verschiedener Netzhautstellen nach einander berührt, kann diese Wahrnehmung noch nicht begründen. Wenn wir den Kopf seitwärts drehen, passiren die Objecte des Sehfeldes ebenfalls eine ganze Netzhautpartie, aber sie scheinen dessenungeachtet unbeweglich — es gehört zur Wahrnehmung der Bewegung noch die Voraussetzung, dass unser Beobachtungsort unverändert geblieben ist, und im vorliegenden Falle ist diese Voraussetzung eine irrige. Aber selbst von der Scheinbewegung abgesehen, auf welche Weise soll denn die Locomotion der Netzhaut zum Bewusstsein gelangt sein? Durch welche Mittel wissen wir denn so genau die Stellung des durch äussere Gewalt verrückten Auges zu beurtheilen, dass wir nun mit Sicherheit und Präcision das Bild in der Richtung projiciren, die den getroffenen Netzhautstellen entspricht? Auch die Identitätslehre braucht ja ausser den identischen Netzhautpunkten noch etwas, um die Richtung des Sehens festzustellen, sie kann ohne Taxation der Muskelcontraction den Ort der identisch sein sollenden Punkte nicht angeben. Acceptirt man aber die Annahme, das Stellungsbewusstsein sei durch den Fingerdruck alterirt worden und daher rühre die Diplopie, dann thut die Nichtidentität der Bildstellen nichts zur Sache.

Für obige Erklärung führe ich noch an, dass Nachbilder, welche bekanntlich jede active, bewusste Bewegung des Auges oder des Kopfes mit machen, unbeweglich erscheinen, wenn das Auge passiv bewegt wird — ein deutliches Zeichen, dass die letztere Veränderung in der Lage der Netzhaut nicht zur Perception gelangt.

Ein ferneres Mittel am gesunden Auge das Muskelgefühl zu perturbiren, gewährt uns die prismatische Ablenkung der Lichtstrahlen. Hält man vor ein Auge ein Prisma mittlerer Stärke mit der brechenden Kante

nach innen oder aussen, so sieht man anfangs doppelt. Bald jedoch nähern sich die Doppelbilder einander und verschmelzen, so dass Einfachsehen — jedoch an einem meist nicht genau richtigen Orte — entsteht. Das Auge hat unterdess hinter dem Prisma eine schielende Stellung eingenommen. Entfernt man das Prisma plötzlich, so treten wieder Doppelbilder hervor in derselben Distanz, wie zu Anfang des Versuchs; jetzt aber treten mit einem unangenehmen Gefühl im Auge die Doppelbilder schnell zusammen, um wieder dem normalen Einfachsehen (am richtigen Ort) Platz zu machen.

Für dies allbekannte Factum hat die Identitätslehre eine der zuvor erwähnten ganz analoge Erklärung. Das Prisma lenkt die Strahlen so ab, dass das Bild seitlich auf eine Stelle trifft, die mit der Bildstelle der andern Netzhaut nicht identisch ist, deshalb Doppeltsehen. Das Auge stellt sich jetzt so, dass das Bild eines fixirten Objects wieder identische Punkte trifft, dadurch Einfachsehen.

Obgleich meine Deutung des Versuchs mit der des vorigen Versuchs ganz übereinstimmt, so nehme ich doch wegen der Wichtigkeit des Gegenstandes keinen Anstand, dieselbe für einen speciellen Fall noch einmal herzusetzen.

Das Prisma *P* (Fig. 25. Taf. IV.) werde mit der Basis nach aussen vor das rechte Auge gehalten, nachdem ein in der Medianebene befindlicher Gegenstand *a* fixirt worden ist. Die Dazwischenkunft des Prismas erzeugt Doppeltsehen und zwar in gekreuzter Richtung, das Bild des linken Auges steht rechts, das des rechten Auges links. — Weshalb, ist leicht einzusehen. Das Bild des Punktes *a*, das vorher auf *a''* fiel, wird durch das Prisma nach *b* abgelenkt. Das Bild *b* aber wird durch den Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen *R* nach *b'* projicirt, es müssen also zwei Bilder gesehen werden, auf ungleichnamiger Seite stehend. Nun tritt das Streben ein, das Einfachsehen herzustellen; nicht aber weil die Stelle *b* des rechten mit der Stelle *a'* des linken Auges nicht identisch ist, sondern weil wir wissen, dass das Doppelterscheinen der Aussenwelt eine Täuschung ist, und weil die Doppelbilder, insbesondere das excentrisch gesehene Bild, nicht von der Schärfe sind, welche dem binocularen Sehen zukommt. Wir sind uns einer Verschiebung des Gesichtsfeldes bewusst und streben sie zu corrigiren. Es ist uns durch Uebung und Gewohnheit bekannt, dass von der Muskelcontraction oder genauer von dem Bewusstsein dieser Contraction, dem Muskelgefühl, die Stellung des Sehfeldes abhängt. Ein gelegentlich vorkommendes Doppeltsehen oder eine Verschiebung der Sehfelder, wie sie sich z. B. bei dem sog. verlorenen Sehen ereignet, gleichen wir durch eine veränderte Zusammenziehung der Muskeln oder durch besseres Aufmerken auf dieselbe aus. Da nun das dauernde Vorhalten des Prismas das Muskelgefühl in constanter Weise und Richtung irre leitet, so brauchen wir

von dem Grade der Muskelcontraction nur ein constantes Maass abzuziehen, um die Projectionsrichtung in soweit zu ändern, dass wir annähernd am richtigen Orte einfach sehen. Die Möglichkeit einer so zu sagen absichtlichen Selbsttäuschung über die Augenstellung ist aber gegeben und verliert das Widersinnige, was ihr beim ersten Anblick anzuhaften scheint, wenn man sich erinnert, dass, wie zahlreiche Experimente beweisen, es nicht das Muskelgefühl selbst und allein ist, das uns so genau zu localisiren gestattet, sondern der Sehact mit seinen verschiedenen Factoren. Ich werde noch andere Beispiele anzuführen Gelegenheit haben, wo das Muskelgefühl sich durchaus nicht als unfehlbar erweist, sondern im Dienste des Sehens überhaupt steht. Sinnliche wie geistige Elemente, d. h. Deutlichkeit des Sehens, wie Uebereinstimmung mit älteren Vorstellungen haben vielfach modificirenden Einfluss auf das Muskelgefühl; erst die Combination beider Factoren giebt unsern Gesichtswahrnehmungen denjenigen Grad von Sicherheit, dessen wir uns erfreuen.

Erfahrung und Uebung, welche bei allen Sinneswahrnehmungen eine so bedeutsame Rolle spielen, sind auch im vorliegenden Fall von Wichtigkeit. Derjenige, der zum ersten Male den Versuch mit dem Prisma anstellt, wird oft nicht sogleich einfach sehen; er wird mit verschiedenen Stellungen herumprobiren, die Augenmuskeln in verschiedener Weise contrahiren, ehe er die Sehfelder zur Deckung bringt und einfach sieht. Manchmal gelingt es auch gar nicht, wenn das Prisma einigermassen stark ist, während hingegen der Geübte sofort mit Leichtigkeit die zum Einfachsehen am besten geeignete Stellung findet. Welches ist aber die Stellung, in welcher das Einfachsehen am leichtesten gelingt? Eine bestimmte Stellung ist genau genommen nicht erforderlich, ja wir könnten mit dem Auge in der alten Stellung bleiben, wenn wir in angemessener Weise die Vorstellung von der Augenrichtung ändern und das Netzhautbild so nach aussen verlegen, dass es sich mit dem Bilde des andern Auges deckt. Allein die Bewegung des Auges wird durch ein anderes sinnliches Element geleitet. Es besteht das Bestreben, um den Gegenstand *a* deutlich zu sehen, ihm die Stelle des directen Sehens gegenüber zu stellen. Das geschieht. Das rechte Auge wendet sich unter dem Prisma, so dass die Macula lutea *a* in die Richtung des von *a* entworfenen durch das Prisma abgelenkten Bildes kommt, dass also wieder scharf gesehen wird. Diese unwillkürliche, oder wenigstens unbewusste Bewegung wird aber nicht als ausgeführt angesehen, zum Bewusstsein gelangt sie nicht. Beweis dafür ist, dass die wirklich vollführte Bewegung um den Bogen a'' b aufgefasst wird als Bewegung des Bildes von b' nach a. Käme die Augenbewegung zur Perception, so müsste das Bild b' seinen Ort beibehalten; gerade diese scheinbare Bewegung des Bildes beweist unstreitig, dass wir während dieser Zeit unsere Vorstellung von der Lage unserer Netzhäute geändert haben. Da die Richtung beider Bewegungen, der schein-

baren und der wirklichen, entgegengesetzt, das Quantum aber gleich ist, so muss, nachdem der hintere Pol des Auges a'' an die Stelle b angelangt ist, die Meinung bestehen, er befinde sich noch in seiner frühern Stellung a''. Demgemäss projiciren wir nun das Bild b, als befinde es sich in a'' in der Richtung nach a. Die Bilder beider Augen decken sich, und es wird einfach gesehen. Der Ort des gesehenen Objects ist nahezu der richtige, doch sind weitere Schwankungen und Unbestimmtheiten nicht ausgeschlossen. Dieselben sind wohl erklärlich, weil das Urtheil über die Richtung des mit dem Prisma versehenen Auges kein ganz sicheres und gleichbleibendes ist.

Wird nun das Prisma entfernt, so kann nicht ohne Weiteres Einfachsehen bestehen bleiben; denn wir sind der Meinung, das Auge befinde sich in einer andern als der wirklich occupirten Stellung. Nun trifft das Bild von a wieder auf die Stelle a'', während doch der hintere Pol des Auges in b steht. Das Bild aber wird nicht, wie es geschehen sollte, in der Richtung über R nach a, sondern gemäss des falschen Begriffs, den wir von der Augenstellung haben, um den Winkel $a'' Rb = \angle\, aRb'$ zu weit nach links nach b verlegt. Wir sehen wieder in gekreuzter Richtung doppelt. Die Herstellung des Einfachsehens wird nun, da wir wieder in die natürlichen Verhältnisse eingetreten sind, schnell und leicht von statten gehen, indem wir die Macula lutea auf a einstellen und mittlerweile das richtige Bewusstsein von der Augenstellung wiedergewinnen. Der Weg aber, auf dem wir in die normalen Verhältnisse zurückkehren, ist der gleiche wie vorher, wieder müssen wir eine wirklich gemachte Bewegung nicht gemacht glauben und daher durch eine dem Doppelbilde beigelegte scheinbare Bewegung ausgleichen.

Die kurze Summe dieser Betrachtungen ist die. Bei der Verwirrung, welche die Ablenkung der Lichtstrahlen auf optischem Wege in unserer Wahrnehmung erzeugt, leitet uns einmal das Bestreben, Dinge, von deren Einfachheit wir überzeugt sind, auch einfach zu sehen und zweitens das Bestreben, das fixirte Object deutlich, d. h. mit der centralen Region der Netzhaut zu sehen. Das kann wegen der Gegenwart des Prismas nur durch eine Täuschung über die wirkliche Augenstellung vermöge einer Alienation des Muskelgefühls erreicht werden, und das Bestehen einer solchen Täuschung wird durch mannigfache Thatsachen ausser Zweifel gestellt.

Die bisherige Erklärungsweise, wie ich sie oben skizzirte, scheint mir an einem Zusammenwerfen zweier Eigenthümlichkeiten des Sehens zu laboriren, an einer Verwechselung der Tendenz zum Einfach- und zum Deutlichsehen. Da bei dem Prisma-Versuche eine Einstellung der Macula lutea erfolgt, schliesst man, das geschehe dem Einfachsehen zu Gefallen, und gewisse für das Einfachsehen prästabilirte Punkte müssen dem Objecte gegenüber gestellt werden. Durch die scheinbare Einfachheit der Erklärung verleitet mochte

man wohl über ihre Mängel hinwegsehen; ich brauche es hier wohl nicht nochmals auszuführen, dass die Vorgänge im Einzelnen durch die auf das Identitätsgesetz gestützte Doctrin durchaus nicht erklärbar sind.

Ein Beispiel von auf Störung des Muskelgefühls beruhendem Doppeltsehen habe ich bei früherer Gelegenheit besprochen. Es war pag. 21. die Betrachtung zweier senkrecht gehaltener Stäbchen bei paralleler Richtung der Sehaxen, wobei jedes Stäbchen in Doppelbildern erscheint, von denen zwei nicht zusammengehörige sich decken. Da wir in diesem Falle die Objecte kennen, über ihre wirkliche Entfernung vom Auge genau unterrichtet sind, so verlegen wir die Doppelbilder nicht in die der Augenstellung entsprechende Entfernung. Indem aber dennoch die Bilder der Stäbchen auf die Stellen des directen Sehens gelangt sind, und daher eine sehr energische Tendenz zur Verschmelzung besteht, so ändern wir das Bewusstsein von der Stellung der Augen, schreiben die von den Augen vollführte Bewegung den Stäbchenbildern zu und erhalten das oben genau beschriebene Resultat. Wir sehen die Bilder in einem der wirklichen Entfernung der Stäbchen gleich kommenden Abstande. Interessant ist es, mit diesem Ergebniss eine Modification des in Rede stehenden Experiments zu vergleichen. Fixirt man einen nahe gelegenen Punkt und stellt zwei einander ähnliche Objecte, etwa zwei kleine Kugeln, so jenseits des Fixationspunktes auf, dass jedes der Objecte in der Richtung der einen Sehaxe liegt, so erlangt man einen ähnlichen Effect wie oben. Man sieht drei Bilder, von denen das mittlere durch Verschmelzung zweier von verschiedenen Objecten herrührenden Doppelbildern entstanden ist. Bemerkenswerth ist nun, dass das mittlere Object kleiner ist, als die beiden seitlichen. Es wird in grössere Nähe, nämlich in den Abstand des Fixirpunktes projicirt, während die anderen Bilder in die aus vorgängiger Wahrnehmung bekannte Entfernung verlegt werden. Einen ähnlichen Effect können wir auch in jenem ersterem Falle erzielen. Wenn wir nämlich bei paralleler Augenstellung eine Wand in der Mittellinie aufstellen, so dass jedes Auge nur ein Stäbchen sieht, so erblickt man bei der nunmehr erfolgenden Verschmelzung die Stäbchen ferner und grösser, wenn auch nicht in so grosser Ferne, als der parallelen Richtung der Sehaxen entsprechen würde. Offenbar ist es der Mangel der beiden abgeschnittenen Bilder, der hier unser Urtheil über Entfernung und Grösse unbestimmt macht. Die Doppelbilder scheinen also eine Art von correctiver Wirkung auszuüben.

Hierher gehört auch der merkwürdige pseudoskopische Effect in einem bekannten Versuche, den ich mit Meissner's Worten wiedergebe*): „Steht man vor einer durch ihr Muster übrigens für den Versuch geeigneten Tapete und lässt die Sehaxen auf einen näheren Punkt

*) l. c. p. 117.

convergiren, so gelangen alsbald die beiden nach innen gelegenen Doppelbilder des Tapetenmusters zur Deckung und man sieht ein einfaches stereoskopisches Bild in der Mitte. Anfangs ist das Bild verwaschen und undeutlich; ganz allmählich aber nimmt es an Deutlichkeit und Schärfe zu, bis es endlich in überraschender, scheinbar selbst die Wirklichkeit übertreffender Klarheit vor dem Blicke schwebt. Aber das Bild befindet sich nicht da, wo die Tapete ist, nicht da, wo die beiden äusseren Doppelbilder des Musters zu liegen scheinen, sondern es schwebt ganz nahe vor den Augen, dort, wo der (ideale) fixirte Punkt liegt" und ist in allen seinen Dimensionen stark verkleinert. Die seitlichen Doppelbilder erscheinen dagegen in ihrer wahren Entfernung und Grösse an der tapezirten Wand. Von besonderem Interesse ist hier die zu Gunsten des deutlichen Erkennens unwillkürlich erfolgende Lösung des Zusammenhangs zwischen Convergenz der Sehaxen und Accommodation, welche sich bei vielen ähnlichen Versuchen beobachten lässt.

Zahlreiche Beispiele der Obergewalt, welche der Sehact auf das Muskelgefühl übt, boten uns die stereoskopischen Versuche, wo dominirende Contouren einen so starken Reiz ausüben, dass auf Kosten des richtigen Muskelgefühls die Verschmelzung erfolgt. Besonders auffallend war es, wie auf solchem Wege Augenbewegungen hervorgerufen wurden, die den gewöhnlichen Contractionsgesetzen der Augenmuskeln entschieden widersprechen, die ungleichmässige Anspannung der nach oben und unten, ja sogar der um die Sehaxen rotirend wirkenden Kräfte.

Dass pathologische Affectionen des Augenmuskelapparates mit dem richtigen Bewusstsein von der Stellung des Auges die Richtung des Sehens häufig stören müssen, ist schon a priori sehr wahrscheinlich. Wie bei einem gelähmten Gliede im Allgemeinen ausser der Bewegungsfähigkeit auch das richtige Bewusstsein von der Stellung des Gliedes verloren geht, so auch bei den Paralysen des Bewegungsapparats des Auges. In der Lehre von den Augenmuskelkrankheiten spielt sehr natürlicher Weise das Muskelgefühl, das Bewusstsein des Contractionsgrades, die Vorstellung von der Stellung der Augen eine sehr bedeutende Rolle, welche freilich bei weitem noch nicht die genügende Berücksichtigung gefunden zu haben scheint. Diese höchst interessante Disciplin, welche durch die mathematische Genauigkeit, mit der sich Diagnose, Prognose, Therapie feststellen lassen, in dem ganzen Gebiete der Pathologie einzig dasteht, hat durch die unablässigen Bemühungen A. v. Gräfes in wenigen Jahren eine ungemeine Ausbildung erlangt, von der das schöne Werk Alfred Gräfes glänzendes Zeugniss ablegt. Gerade für diesen auf so gutem Wege befindlichen Zweig der Wissenschaft –

einen Glanzpunkt der heutigen Ophthalmologie — ist es von höchster Wichtigkeit, dass er sich von einem alten eingewurzelten Irrthume emancipire, der auf den weiteren Fortschritt mehr und mehr einen lähmenden Einfluss ausüben muss. Dass die Lehre von der Identität mit der falschen Horopterlehre und mancherlei andern falschen Consequenzen, dass insbesondere unser noch sehr mangelhaftes Wissen über die normalen Augenbewegungen doch ein so rasches, gewaltiges Emporkommen unserer Kenntnisse von den Augenmuskelleiden gestattete, ist dadurch zu erklären, dass durch eine Art von glücklicher Compensation der Fehler die Folgen der Grundirrthümer in vielen Fällen unschädlich gemacht werden. Aber die zahlreichen Fälle räthselhafter Erscheinungen, die der physiologischen Congruenz zu Liebe auch eine pathologische Incongruenz der Netzhäute anzunehmen zwangen, die trotzdem oft genug gänzlich unerklärlich bleiben — diese Fälle, für deren gewissenhafte und musterhaft exacte Mittheilung die Wissenschaft dem aufrichtigen Beobachter zu grossem Danke verpflichtet ist, sie beweisen deutlich genug, wie hier noch nicht Alles geheuer ist. Ich will auf diese paradoxen Erscheinungen wie überhaupt auf die pathologischen Verhältnisse nur einen kurzen Streifblick werfen. Eine weitere Ausführung ergiebt sich von selbst, wenn die Hauptsache, die Ausrottung der Identitätslehre, gethan ist.

Ist ein Augenmuskel oder mehrere gelähmt, so werden gewisse Stellungen und Bewegungen des Auges, bei denen die Thätigkeit des erkrankten Muskels erforderlich ist, nicht oder nur unvollkommen ausführbar sein. Da aber in der Regel ein Bewusstsein von der Lähmung, von der aufgehobenen oder geschwächten Wirkung des Muskels nicht existirt, da ferner die Stellung einer andern Controlle als durch das Muskelgefühl nicht zugängig ist, so wird ein etwaiger Fehler in der Stellung der Augen nicht zum Bewusstsein gelangen. Sind die Muskeln des Armes paretisch, so wird die Schwächung wahrgenommen durch das Missverhältniss der zur Bewältigung einer geringen, durch Gesicht und Getast controllirten Last erforderlichen Kraft. Für den Augenmuskel giebt es kein so naheliegendes Mittel, die Erfolglosigkeit der intendirten Muskelanstrengung ins Bewusstsein überzuführen. Wenn z. B. der Abducens eines Auges plötzlich vollständig gelähmt wird, so wird bei der Fixation eines auf der äusseren Seite dieses Auges gelegenen Objects das Auge nicht die richtige Stellung einnehmen können, da es Sache des Abducens ist, die dazu nothwendige Bewegung zu vollführen. Das Auge bleibt in convergent schielender Stellung, das Bild des Objects fällt also auf eine um den Abweichungswinkel excentrische Stelle der Netzhaut. In der Vorstellung aber befindet sich das Auge in der richtigen Stellung, weil der normale Willensimpuls gegeben ist; und das excentrische Bild wird also stark in der Richtung der Visirlinie um den Excentricitätswinkel nach aussen projicirt; die Folge davon ist gleichna-

miges Doppeltsehen. Je weiter das Fixirobject nach aussen liegt, um so bedeutender ist der Abweichungswinkel des gelähmten Auges; um einen in gleichem Grade wachsenden Winkel wird das von der falschen Augenstellung nicht unterrichtete Sensorium das Netzhautbild zur Seite projiciren. Der Abstand des Doppelbildes wächst also proportional mit dem seitlichen Weiterrücken des fixirten Objects. Das Streben nach Deutlichsehen lässt sich in diesem Falle an dem leidenden Auge nicht realisiren, da bei total gelähmten Externus das Auge auf keine Weise nach aussen gewandt werden kann. Anders, wenn nur eine Parese da ist, wenn einerseits der Muskel nicht völlig functionsfähig ist, und andererseits keine zu starke Anforderung an ihn gestellt wird. Soll unter solchen Umständen ein nur wenig zur Seite gelegenes Object fixirt werden, so wird der paretische Abducens doch im Stande sein, dem Drange nach Deutlichsehen Genüge zu leisten, um die Stelle des directen Sehens dem Objecte gegenüberzustellen. Aber da er pathologisch geschwächt ist, wird ihm das eine abnorm grosse Anstrengung kosten, und es ist damit die Vorstellung von einer sehr kräftigen Contraction, also von einer sehr starken Aussenwendung des Bulbus verbunden. So lange nun beiderseitiger Sehact stattfindet, trägt das Bestreben zur Verschmelzung der centralen Eindrücke in der Regel den Sieg davon, und trotz der stärkeren Anstrengung des unvollkommen innervirten äusseren Augenmuskels wird einfach gesehen und zwar auch wenigstens nahezu am richtigen Orte. So wie nun aber das gesunde Auge verdeckt wird, und der gemeinschaftliche Sehact aufhört Leiter der Function zu sein, so äussert sich die Disharmonie der Muskelwirkung, wie das von v. Gräfe in der classischen Arbeit, mit der er das Archiv für Ophthalmologie eröffnete, auseinandergesetzt hat. Es tritt, während das Auge mit dem geschwächten Muskel eingestellt ist, unter der deckenden Hand eine starke Ablenkung des gesunden Auges nach innen ein, weil dieselbe Energie, die auf den Externus des einen Auges wirkt, auch dem associirten Internus des andern Auges zu Theil wird, und dieser gesunde Muskel das Auge viel zu stark nach innen rotiren lässt. Zugleich ist die Vorstellung von der Stellung des Auges eine falsche. Der starken Anstrengung des Externus entsprechend, wird das Auge als weiter nach aussen gerichtet vorausgesetzt, als es wirklich der Fall ist, und in dieser Idee das Bild zu weit nach aussen projicirt. Ein schnelles Greifen nach einem gesehenen Gegenstande beweist, dass eine Desorientirung im Sehfelde, eine falsche Projection des Netzhautbildes statt hat; es wird nach der Seite des kranken Muskels fehlgegriffen. Der Grad des Fehlgreifens, der Winkel, um den das gesehene Object dislocirt scheint, ist ein Maass für die Störung des Muskelgefühls. Höchst lehrreich sind die Thatsachen, welche hierüber v. Gräfe in der citirten Arbeit anführt, und welche jeder Augenarzt seitthätigen Gelegenheit hatte. Ich komme hier nur deshalb da-

rauf zu sprechen, weil v. Gräfe trotz der sehr richtigen Ansichten über die Wichtigkeit des Muskelgefühls in Bezug auf die Augenstellung, dennoch in Bezug auf die Diplopie stets noch die Identität der Netzhäute interveniren lässt. Wie ich in obigem Beispiele darzuthun versuchte, so lässt es sich für alle Fälle von Augenmuskelaffectionen erweisen, dass die Störung des Muskelgefühls im Verein mit der geradlinigen Projection der Netzhautbilder hinreicht, um die Phänomene des Doppeltsehens zu erklären.

Dass das Höher- und Tieferstehen der Doppelbilder, sowie die Schiefheit derselben bei Paralysen von Muskeln, deren Zusammenziehung auf den Höhenstand der Hornhaut und auf den Stand des verticalen Meridians Einfluss übt, auf ganz gleiche Weise zu deuten ist, wird Keiner läugnen, der die Richtigkeit des Gesagten für den seitlichen Abstand zugiebt. Nur wenige Worte widme ich daher einem Beispiele.

Bei einer Trochlearisparalyse soll der Blick in der Mittellinie nach unten gerichtet werden. Da hierbei der obere schiefe Augenmuskel in seine Hauptfunction treten müsste, so wird mit dem Ausbleiben derselben eine abnorme Augenstellung eintreten. Der Bulbus weicht nach oben und ein wenig nach innen ab, der verticale Meridian wird nicht, wie es dieser Augenstellung zukommt, nach innen geneigt sein, sondern von dieser Stellung etwas nach aussen abweichen*). Da die anomale Augenstellung nicht als solche ins Bewusstsein tritt, so wird das auf einer excentrischen Stelle entstehende Netzhautbild in solcher Richtung nach aussen verlegt, als befände sich das Auge in normaler Lage. Die Dislocation des Doppelbildes wird somit in jeder Beziehung die umgekehrte sein, wie die Dislocation des Netzhautbildes relativ zu dem Platze, den bei normalem Stande der Dinge das Bild auf der Retina einnehmen würde. Entsprechend dem seitlichen Abstande des Bildes vom Netzhautcentrum nach innen steht das Doppelbild aussen auf Seite des vorbeischiessenden Auges; entsprechend der höheren Lage des Bildes auf der Netzhaut erscheint als Doppelbild tiefer; entsprechend endlich der nach aussen schiefen Lage des Netzhautbildes ist das Doppelbild nach innen geneigt. Jede dieser Abweichungen, der laterale, der Höhen-Abstand, die Schiefheit wechselt bei seitlicher Augenrichtung in der unteren Hälfte des Sehfeldes, je nachdem in jeder Stellung die eine oder die andere Function des Muskels mehr oder minder in Anspruch genommen wird. Allemal steht die Abweichung des Doppelbildes in geradem Verhältniss zu der Abweichung der actuellen Bildstelle von der normalen, da die Projection des Bildes in der Voraussetzung der normalen Lage der Netzhaut erfolgt.

---

*) Vgl. die Symptomatologie der Trochlearislähmung bei v. Gräfe l. c.

Die Gesetze des pathologischen Doppeltsehens, wie v. Gräfe sie theoretisch aus der Identitätslehre entwickelt hat, und wie sie allerdings in der grossen Mehrzahl der Fälle erhärtet worden sind, bedürfen, wie aus der obigen Betrachtung ersichtlich ist, einiger Aenderung. „Da dem Princip der Identität beider Netzhäute zufolge das Gesichtsobject nur dann im gemeinschaftlichen Sehen einfach erscheinen kann, wenn die beiderseitigen Sehaxen auf dasselbe gerichtet sind, so muss eine jede pathologische Ablenkung der einen Sehaxe zu Erscheinungen von Doppelsehen Veranlassung geben.“ So beginnt v. Gräfe seine wichtige Abhandlung über das Doppeltsehen*). Wie ich die Prämisse anfechte, so muss ich auch den Schluss anfechten. Nach meinem Dafürhalten braucht nur diejenigen pathologischen Ablenkungen der einen Sehaxe Doppeltsehen zu veranlassen, welche mit einem unrichtigen Stellungsbewusstsein verknüpft sind. Dass es auch Fälle pathologischer Ablenkung giebt, wo das Stellungsbewusstsein ein richtiges ist, will ich später nachzuweisen versuchen. Ist nämlich das Bewusstsein von der Stellung des abgelenkten Auges ein richtiges, mit der Wirklichkeit übereinstimmendes, so wird das Netzhautbild in gehöriger Weise durch den Kreuzungspunkt der Visirlinie nach aussen projicirt und gelangt zur Deckung mit dem Bilde des andern Auges am wahren Orte des Objects; es findet Einfachsehen statt. Es besteht nur der Nachtheil, dass in dem abgelenkten Auge das Bild des zu fixirenden Objects auf eine excentrische Netzhautregion trifft und dieserhalb undeutlich percipirt wird. Die Vortheile und Eigenthümlichkeiten des binocularen Sehens werden daher nicht in vollkommenen Maasse stattfinden, aber sie werden auch nicht ganz fehlen, sofern die Netzhaut sich noch in einem erträglich functionsfähigen Zustande befindet.

v. Gräfe's Hauptgesetz für die Lage der Doppelbilder ist folgendes: „Das Doppelbild des betroffenen Auges ist von dem Bilde des gesunden Auges in der entgegengesetzten Richtung abgewichen, in welcher der vordere Pol des Auges von der fixirenden Stellung abgewichen ist**) In dieser Fassung kommt nichts von der Identität der Netzhäute vor, und wie das Gesetz in unzähligen Fällen empirische Bestätigung gefunden hat, so stimmt es auch fast ganz mit den von mir entwickelten Grundsätzen überein. Es drückt das aus, was unter Voraussetzung einer richtigen fixirenden Augenstellung stattfindet, und passt daher für alle die Fälle, wo diese Voraussetzung wirklich gemacht wird. Eine ganz allgemeine Geltung aber hat die Regel nicht, wie manche, nicht gar zu seltene Falle beweisen, auf die ich zurückkommen werde.

In den Fällen, wo das kranke Auge als fixirend vorgestellt wird, wird der Winkelabstand des Doppelbildes nach beiden Theorien von der

*) l. c. pag. 82.

**) l. c. pag. 83.

Fixationsstellung aus berechnet, wenn ich so sagen darf. Nach v. Gräfe's Theorie ist er gleich dem Grade der Excentricität des Netzhautbildes, nach meiner Erklärung gleich dem Grade der Täuschung über die Augenstellung, welche letztere genau durch denselben Winkel gemessen wird. Das v. Gräfe'sche Gesetz bedarf also des einschränkenden Zusatzes: „sofern das Muskelgefühl noch nicht eine sekundäre Alienation erlitten hat, welche die Nachaussenverlegung des Bildes auf eine andere Stellung als die Fixationsstellung beziehen lässt."

Welches sind nun die Fälle, in denen das Muskelgefühl oder die Verwerthung desselben zur Beurtheilung der Stellung des erkrankten Auges sekundär verändert wird? Hierher gehört vor Allem eine grosse Zahl aller älteren Fälle von Muskelaffectionen verschiedener Art. Selten pflegt Doppeltsehen sehr lange und hartnäckig fortzubestehen; selbst wenn die Krankheit des Muskels bleibt, so schwindet doch allmählig das Doppeltsehen, indem es sich erst auf gewisse Augenstellungen (die dann durch ein instinctives Nachhelfen mit compensirenden Kopfbewegungen vermieden werden) auf gewisse Theile des Sehfeldes beschränkt, dann ganz aufhört. Es ist bekannt, dass hier in vielen Fällen eine Unterdrückung des Doppelbildes stattfindet; indem der Gesichtseindruck des vorbeischiessenden Auges theils wegen der Excentricität des Bildes, theils wegen der Unmöglichkeit, denselben mit dem des andern Auges zu vereinigen, unbrauchbar ist und deshalb gänzlich oder wenigstens in den Einzelheiten ignorirt wird. Consequenter Weise wird dann auch von den Vertretern der Identitätslehre in allen Fällen, wo trotz pathologischer Abweichung der Sehaxe kein Doppeltsehen stattfindet, jedesmal Unterdrückung des Doppelbildes angenommen — doch, wie mir scheint, für eine grosse Kategorie von Fällen, sehr mit Unrecht. Es giebt, wenn man das Dogma von der Identität aufgiebt, noch ein Mittel, das excentrische Netzhautbild zu benutzen. Die in Folge des Muskelleidens auftretende falsche Vorstellung von der Augenstellung kann aufhören, das Muskelgefühl kann eine Restitution erfahren. Allmählich kann man durch das unter gewissen Bedingungen stets wiederkehrende Doppeltsehen, durch den zu gewissen Zwecken nothwendig werdenden Spannungsgrad des Muskelapparats über die pathologische Stellung des Auges belehrt werden; dies insbesondere, wenn die Lähmung eine unvollständige ist. Theils mag hier der andauernde psychische Einfluss, das bessere Wissen von der Einfachheit der Objecte wirksam sein, theils auch ein rein sinnliches Moment, das Gefühl einer erleichterten Last für die Antagonisten des gelähmten Muskels; dies soll hier nicht weiter untersucht werden, da es sich nur um die Möglichkeit einer allmähligen Beseitigung der Täuschung über die Augenstellung handelt. Nachdem nun die Täuschung beseitigt worden ist, d. h. nachdem ein richtiges Bewusstsein der pathologischen Abweichung des Auges eingetreten ist, so steht nichts dem im

Wege, dass das Netzhautbild in der gehörigen Richtung projicirt wird und mit dem des gesunden Auges zur räumlichen Deckung gelangt. In Fällen von totaler Lähmung eines oder mehrerer Augenmuskeln, wo das Auge bei verschiedenen Fixationen jedesmal in verschiedenem Grade und in verschiedener Richtung abweicht, wird es schwer, vielleicht unmöglich sein, das richtige Bewusstsein der Augenstellung im ganzen Umfange wiederzugewinnen, allein, wo der Abweichungswinkel ein constanter, oder doch für gewisse Verhältnisse constanter ist, da ist eine Restitution des Muskelfühls wohl denkbar.

Das gewöhnliche concomitirende Schielen scheint mir unzweifelhaft eine grosse Reihe von Fällen zu bieten, wo die Herstellung eines normalen Muskelgefühls (sofern dieses nämlich zur Zeit der Entstehung des Schielens verloren war) wirklich erfolgt ist, und es entspricht vollkommen der Erfahrung, wenn ich behaupte, dass das schielende Auge sehr oft noch von grossem Nutzen ist. Die neueren Untersuchungen haben gelehrt, und Niemand zweifelt mehr daran, dass ein gewisser Nutzen des schielenden Auges meistens stattfinde. v. Gräfe definirt denselben dahin, dass einestheils eine peripherische Vergrösserung des Gesichtsfeldes durch das schielende Auge bewirkt werde, anderntheils die Parthie der Netzhaut, welche dem gemeinschaftlichen Gesichtsfeld angehöre, wenn auch nicht durch qualitative, so doch durch quantitative Lichtempfindung dem Sehen nütze. Ich glaube mit Bestimmtheit hinzufügen zu können, dass auch die qualitative Lichtempfindung, die Distinction des gemeinsamen Gesichtsfeldes in einer nicht kleinen Anzahl der Schielfälle verwerthet werde; ein Factum, das allerdings, wenn es erwiesen ist, mit der Identitätslehre in entschiedenem, unlösbarem Widerspruche steht. Sehr leicht und fast in allen Fällen von concomitirendem Schielen ist nachzuweisen, dass der peripherische Theil der Netzhaut, welcher dem besonderen Gesichtsfelde des schielenden Auges entspricht, functionirt, dass er qualitative Eindrücke vermittelt, die oft gerade so gut und brauchbar sind, wie die des andern Auges. Während bei starker pathologischer Convergenz der Sehaxen freilich in Folge der Stellung des Auges der Zuwachs an Sehfeld gering ist, geht der Umfang des letzteren bei Strabismus divergens oft stark über das normale Maass hinaus. Die Orientirung kann natürlich nur dann brauchbar, die Vergrösserung des monocularen Sehfeldes nur dann nutzenbringend sein, wenn die Vorstellung von der Stellung des Auges eine richtige ist. Für alle die Fälle also, wo das peripherische Gesichtsfeld benutzt wird, ist es klar, dass das Gleichgewicht des Muskelgefühls ad integrum restituirt ist, das Bewusstsein von der Augenrichtung normal ist, und es ist nicht zu verwundern, dass dann Doppeltsehen auf keine Weise sich hervorrufen lässt. Werden von der innern Netzhauthälfte die Bilder richtig durch den Kreuzungspunkt der Visirlinien nach aussen projicirt, so ist nicht einzusehen, wes-

halb dies für die äusseren Netzhauthälften sich anders verhalten sollte; es würde das vollkommen widersinnig sein. Dass eine richtige Projection factisch vorkommt, dafür werden unten einige Beispiele beigebracht werden.

Gerade in dem seit Pickford unbestrittenen Factum, dass beim Schielen das besondere peripherische Gesichtsfeld des abweichenden Auges benutzt wird, liegt einer der stärksten Beweise gegen die Identitätslehre; denn der Theil der Netzhaut des gesunden Auges, welcher mit der innersten Netzhautparthie des schielenden Auges identisch sein, also gleiche Ortswahrnehmungen vermitteln soll, gehört einem ganz anderen Raumgebiet an als letztere. Das wird namentlich beim Blick in die Ferne, z. B. auf eine Landschaft leicht zu beweisen sein. In Fig. 26 Taf. IV. sei *L* das gesunde linke in die Ferne sehende Auge, *R* das divergirend schielende. Der Halbkreis *ad* soll den Horizont bezeichnen. *aLb* wird das Sehfeld des linken, *cRd* das des rechten Auges sein, von welchem letzterem der ihm allein zugehörige Theil *bRd* qualitative Wahrnehmungen hat. Der diesem Theil des Raums entsprechende Netzhauttheil *ef* wird für identisch gehalten mit dem Netzhauttheil *gh* des anderen Auges, welches um einen gleichen Gradbogen von dem Mittelpunkt der Netzhaut absteht. Diesem Netzhauttheil *g h* entspricht der Theil *b L k* des Gesichtsfeldes, die beiden identischen Netzhautregionen enthalten die Bilder zweier verschiedener Segmente des Sehfeldes. Es liegt also die für die Identitätstheorie meines Erachtens ganz unerklärbare Thatsache vor, dass identische Parthieen der Netzhäute verschiedene Ortswahrnehmungen vermitteln. Für den gewöhnlichen Strabismus convergens findet dasselbe statt, nur dass das eigene Gesichtsfeld des schielenden Auges kleiner ist. Ich glaube nicht, dass die consequenten Vertreter der Identitätslehre, die Ausbildung eines neuen Identitätsverhältnisses, dieser für angeboren, ja für anatomisch begründet gehaltene Eigenschaft der Netzhaut als Erklärung für obige Thatsache anführen werden. Sollte dies indess geschehen, in welchem Falle die Rückkehr zum Strabismus incongruus im Kreislauf der Dinge richtig vollendet sein würde, so ist zu erwiedern, dass, da der Schielwinkel sich für jede Entfernung ändert, auch eben so viele neue Identitätsverhältnisse geschaffen sein müssten. Auch dürfte man sich billig darüber verwundern, dass eine neue Identität in wenigen Wochen gebildet werden kann, wie es z. B. bei incompleter Lähmung des Externus mit consecutiver Contractur des Internus gar nicht selten der Fall sein müsste.

Wenn eine von der Fixation abweichende Stellung das gemeinschaftliche Sehen nicht nothwendig aufzuheben braucht, so ist andrerseits nicht zu verkennen, dass die schielende Stellung in Folge der Contractur eines Augenmuskels die Benutzung der Netzhautbilder dieses Auges sehr beeinträchtigen muss; selbst abgesehen von den Nachtheilen, die aus den abnormen Druckverhältnissen möglicherweise erwachsen. Die centralen

Bilder werden aus psychologischen Gründen unterdrückt werden oder unbeachtet bleiben müssen; denn die Aufmerksamkeit ist dem Fixirobjecte des gesunden Auges zugewendet und die physiologisch bevorzugten Bilder der Macula lutea des schielenden Auges müssen, um die Concentration der Aufmerksamkeit nicht zu hemmen, andauernd vernachlässigt werden. So ist es denn erklärlich, dass das centrale Sehen des monolateral schielenden Auges abnimmt, Amblyopie aus Nichtgebrauch eintritt, während dagegen die übrigen Parthieen der Netzhaut, namentlich aber die, welche dem Fixirobject gegenüberstehen, doch noch viel zum Sehen, namentlich zum körperlichen Sehen beitragen. So ist es auch erklärlich, dass, wenn die Sehkraft abnimmt, dies zuerst in den centralen Theilen der Netzhaut geschieht, indess die inneren Netzhautpartien und insbesondere die innerste, dem eignen Sehfelde gehörige, am längsten und besten erhalten bleibt. Ja bisweilen findet man sogar die Schärfe des excentrischen Sehens bis über die Norm gestiegen, und wo zugleich das centrale Sehen bedeutend gesunken ist, ist eine unsichere oder gar eine falsche Fixation die nothwendige Folge.

Wesentlich verschieden steht es um die günstigeren Fälle von alternirendem Schielen. Da hier die abwechselnde Einstellung beider Augen den Nachtheil der Vernachlässigung der centralen Bilder des jedesmal abgelenkten Auges unschädlich macht, so entsteht keine Amblyopie und das binoculare Sehen wird nur wenig beeinträchtigt. Dass die Vorstellung von der jedesmaligen Augenstellung eine richtige ist, dass, wenn ich so sagen darf, eine Kenntniss der pathologischen Ablenkung besteht, geht schon aus der alternirenden Fixation ohne Störung der Orientirung hervor. Doppeltsehen findet daher in allen diesen Fällen nicht statt und lässt sich auch nicht deutlich hervorrufen, wohl aber sind es gerade diese Fälle, welche nach der Operation bisweilen zu sehr hartnäckigen und auffallenden Erscheinungen der Diplopie Gelegenheit geben. Der Nachtheil, welchen ein alternirend Schielender beim binocularem Sehen hat, ist der, dass die Eindrücke, welche am meisten die Aufmerksamkeit beschäftigen, im schielenden Auge nicht die normale Schärfe haben, weil sie excentrisch sind. Von der Grösse des Schielwinkels, dem man bisher vielleicht zu wenig Wichtigkeit beigelegt hat, hängt der Grad der Deutlichkeit dieser Bilder ab. Das körperliche (stereoskopische) Sehen ist aber nicht aufgehoben, sondern verliert nur von der normalen Schärfe und Genauigkeit.

Diese Behauptungen, die sich aus den vorgetragenen allgemeinen Anschauungen mit Nothwendigkeit ergeben, habe ich praktisch bestätigt gefunden. Freilich war das mir zu Gebote stehende pathologische Material zu gering, um über die einzelnen Punkte erschöpfende Untersuchungen anzustellen und es bleibt hier noch viel zu thun. Es war mir *hier allein darum* zu thun, durch einige Andeutungen zu zeigen, dass Alles

das, zu dessen Erklärung man die Identität bisher für unumgänglich hielt, sehr gut, ja besser und vollständiger ohne jene Hypothese in Zusammenhang zu bringen ist.

Ich habe hier einige Beobachtungen zu erwähnen, welche sich mit meiner Behauptung, dass das gemeinschaftliche Sehen bei pathologischer Ablenkung eines Auges nicht aufgehoben zu sein braucht, auf den ersten Blick nicht zu vertragen scheinen. Es wird um so nothwendiger sein, den Einwendungen, welche auf Grund von Beobachtung gemacht werden können, zu begegnen, als positive und überzeugende Beweise für obigen Satz in dem einzelnen Falle sich nicht immer leicht gewinnen lassen. Das körperliche Sehen ist das einzige sichere Criterium für das binoculare Sehen, und es ist schwierig, im speciellen Falle die Grenze zu ziehen zwischen der Wahrnehmung der Körperlichkeit oder der blossen, auf ältere Wahrnehmungen gestützten Vorstellung.

A. Gräfe hat interessante Mittheilungen über die „partielle Aufhebung des gemeinschaftlichen Sehacts" gemacht*). Wiewohl bei seinen Untersuchungen die eigentlich specifische Eigenthümlichkeit des gemeinschaftlichen Sehens, das Körperlichsehen, kaum Berücksichtigung gefunden hat, so sind die Resultate doch sehr beachtenswerth. Das Prisma wird als ein Mittel hingestellt, um zu entscheiden, ob einseitiger oder gemeinschaftlicher Sehact statthabe. Hält man einem normal binocular fixirendem Individuum ein Prisma vor ein Auge, so wird die Ablenkung des Bildes nothwendig entweder Doppeltsehen oder schielende Stellung des betreffenden Auges zur Folge haben. Wo keins von beiden eintritt, wo nach wie vor einfach gesehen wird, ohne dass die Augenstellung sich ändert, da scheint man zu dem Schlusse berechtigt, dass kein gemeinschaftlicher Sehact stattfinde. Dass dieser Satz indessen Restrictionen erfordert, lehrten Gräfe's Beobachtungen in Fällen, wo die nach gewisser Richtung hin abgelenkten Bilder nicht als Doppelbilder zur Erscheinung kamen, während dies doch bei Ablenkung in anderer Richtung geschah Prismen mit der Basis nach innen oder aussen angelegt, rufen oft kein Doppeltsehen hervor, während es sogleich hervortritt, wenn dieselben Prismen mit der Basis nach oben oder unten gehalten werden; auch scheinen die diagonalen Richtungen des Prismas nicht so leicht Doppeltsehen zu veranlassen, wie die Ablenkung gerade nach oben oder unten. Hiernach stellt Gräfe eine Skala auf für Störungen des gemeinschaftlichen Sehens. Als niedrigsten Grad betrachtet er die Fälle von Schielen, wo Doppeltsehen zwar nicht spontan stattfindet, aber durch jedes wie immer applicirte Prisma hervorgerufen wird. Den höchsten Grad würden die Fälle darstellen, wo das Prisma in keiner Richtung Doppeltsehen

*) l. c. pag. 38 seqq. und Deutsche Klinik. Jahrg. 1858.

macht. Natürlich bereitet ihm die Erklärung des niedrigsten Grades die meiste Schwierigkeit; denn ob die Lage des Bildes mehr oder weniger excentrisch ist, mit und ohne Prisma werden nicht identische Netzhautpunkte getroffen und in beiden Fällen wäre der Theorie zu Folge Doppeltsehen zu erwarten. Dass dies jedoch ohne Prisma nicht stattfindet, erklärt Gräfe folgendermaassen: „Es werden bei einer bestimmten Deviation eines Auges sowohl von central als excentrisch gelegenen Gesichtsobjecten Netzhautpunkte in gleichzeitige Erregung versetzt, welche nicht im Verhältnisse der Identität zu einander stehen, immer aber doch dieselben nicht zu geordneten Netzhautpunkten. Es ist ausser Zweifel, dass die Fähigkeit, gemeinschaftlich zu sehen, zunächst und zuerst nur die Beziehung auf den Complex jener nicht identischen Netzhautpunkte in Relation zu einander erlischt, welche durch die stattfindende Schielstellung am constantesten in gleichzeitige Erregung versetzt werden"*). Für jede Entfernung aber ändert sich der Schielwinkel und mit ihm der Ort der Bilder der vom andern Auge fixirten Objecte, es müssen also immer verschiedene Complexe von Netzhautpunkten der Vernachlässigung unterworfen werden. Derjenige Complex von Punkten, welcher einer bestimmten Stellung zukommt, würde in dieser Stellung kein Doppeltsehen machen. Er würde es aber in einer andern Stellung, wenn die Erregung durch prismatische Ablenkung erfolgt. Welch ein ungeheuer complicirter Mechanismus muss dazu statuirt werden! Eine Unzahl von Beziehungen zwischen den verschiedensten Complexen nichtidentischer Punkte müsste sich ausbilden, um die Unterdrückung der Doppelbilder in allen Fällen zu ermöglichen. Viel einfacher und natürlicher dünkt mir die Erklärung, dass das abweichende Auge sich in Bezug auf das Muskelgefühl normal verhalte, und dass, weil die pathologische Stellung richtig gewürdigt wird, einfach und körperlich gesehen, jede prismatische Ablenkung aber auch sofort wie beim normalen Auge als Doppeltsehen wahrgenommen wird. Freilich bemerkt Gräfe, „dass die prismatisch hervorgerufene Diplopie dem summarischen Effect der muskulären Abweichung und der prismatischen Abweichung sich immer genau proportional verhält." Gestützt auf einige entgegenstehende Beobachtungen kann ich einige leise Zweifel an der Richtigkeit oder mindestens an der Constanz der Beobachtung nicht unterdrücken. Leider bin ich aus Mangel an ausreichendem Untersuchungsmaterial nicht im Stande, die Frage zur sofortigen Entscheidung zu bringen. Aus gleichem Grunde kann ich mir auch über Gräfe's höheren Grad der Störung des gemeinschaftlichen Sehens, wo seitliche prismatische Ablenkungen kein Doppeltsehen veranlassen, wohl aber Höhenablenkung, kein Urtheil erlauben. Allein das Factum, wie nicht zu zweifeln, als richtig vorausgesetzt, liesse sich viel-

*) *l. c. pag. 45.*

leicht folgende Erklärung aufstellen. Die Stellung des Auges in Bezug auf Höhe und Tiefe ist genau bekannt, in Bezug auf seitliche Richtung aber besteht wegen des stets wechselnden Schielwinkels eine gewisse Unsicherheit, welche macht, dass das Bild entweder vernachlässigt wird, oder dass die Projectionsrichtung innerhalb gewisser Grenzen variabel ist, indem die Vorstellung von der augenblicklichen Richtung der Sehaxe sich dem sichereren und überwiegenden Eindruck des andern Auges gewissermaassen accommodirt. Ich will indessen diese Erklärung für nichts mehr als eine Vermuthung ausgeben, und betrachte die Frage als eine offene.

Das Doppeltsehen, welches nach Schieloperationen spontan auftritt oder sich künstlich hervorrufen lässt, hält v. Gräfe für den glänzendsten Beweis der Identität der Netzhäute*). Ich glaube, dass sich dasselbe sehr wohl ohne die Identität begreifen lässt, ja ich möchte die hierher gehörenden mannigfaltigen und wechselvollen Vorkommnisse gerade als eine Waffe gegen jene Lehre benutzen.

Es ist leicht einzusehen, dass durch die Durchschneidung eines Augenmuskels das Bewusstsein von der Stellung des operirten Auges verwirrt werden müsse. Da die Schieloperation, wie sie jetzt fast allgemein ausgeführt wird, nur in einer Ablösung der Sehne hart an der Sclerotica besteht, so dass der seitliche Zusammenhang des Muskels mit der Tenon'schen Capsel wenig oder gar nicht beeinträchtigt zu werden braucht, so wird die Wirkung des abgelösten Muskels durch eine gut und richtig ausgeführte Operation nicht aufgehoben, sondern nur beschränkt. Durch den Zug an der den Bulbus umhüllenden festen Bindegewebsscheide wird der Muskel selbst unmittelbar nach der Operation nur in verringertem Maasse wirken, er wird einem paretischen Muskel gleichstehen. Es ist nicht zu begreifen, wie trotz des mechanischen Eingriffs das Bewusstsein von der Stellung des Bulbus ein richtiges sein könne, und doch hat man das stillschweigend vorausgesetzt. v. Gräfe sagt, man könne nach der Abweichung des operirten Auges den Abstand der Doppelbilder „mit einiger Genauigkeit" voraussagen. Die nicht vollständige Uebereinstimmung der Berechnung mit der Beobachtung setzt v. Gräfe auf Rechnung der Formstörung des schielenden Auges, Abweichung der Sehaxe von der Augenaxe, die von den ungleichartigen Druckverhältnissen herrühre. Dem gestörten Muskelgefühl räumt er keinen Einfluss ein, und gerade dies muss ich, ohne das gelegentliche Vorkommen einer Asymmetrie des Bulbus in Abrede zu stellen, für das Wich-

*) l. c. pag. 91.

tigste halten. Auch hier muss ich mich kurz fassen und rücksichtlich der Ausführung auf die Zukunft verweisen, da ich zur Zeit, wo ich dies schreibe, nicht in der Lage bin, thatsächliche Ermittelungen anzustellen, und ich bin genöthigt, mich vorläufig an einige frühere Erfahrungen aus der Zeit, als ich nur leise an der Identitätslehre zu zweifeln begann und an einige der Literatur angehörige Fälle zu halten.

Nach der Tenotomie des Rectus internus bei convergirendem Schielen pflegt die sofortige Wirkung die Verringerung der Convergenz zu sein, das Auge ist relativ zu der früheren Stellung nach aussen gerückt, das Bild eines vom gesunden Auge fixirten Objects trifft also eine weniger excentrische Stelle der Netzhaut. Wenn seitens des sensoriellen Bewusstseins (sit venia verbo) von der verrichteten Operation keine Notiz genommen wird, wenn also das Auge als noch in der alten stark schielenden Stellung verblieben vorgestellt wird, so muss, wenn das Bild zur Perception gelangt, Doppeltsehen entstehen. Das Doppelbild wird so projicirt werden, als stände die getroffene Bildstelle noch an ihrem alten Platze, nämlich mehr auswärts, als sie nun steht; das Doppeltsehen müsste also gekreuzt sein. — Die Berechtigung dieser Betrachtungsweise und Anwendbarkeit wenigstens für eine gewisse Kategorie von Fällen erhellt daraus, dass wirklich, wie v. Gräfe's und A. Gräfe's Mittheilungen zeigen, gekreuztes Doppeltsehen nach Schieloperationen vorkommt, freilich deutlich nachweisbar, wie es scheint, nur in Ausnahmsfällen.

v. Gräfe's Angabe über die Uebereinstimmung des Doppeltsehens mit der Abweichung des Auges und der Excentricität der Netzhautbilder scheint jedoch nicht bloss in seltenen Fällen Ausnahme zu erleiden, sondern sehr häufig wird jene Uebereinstimmung mangelhaft befunden. Selbst in Fällen, wo von Asymmetrie des Bulbus keine Rede sein konnte, liess die Harmonie zwischen der auf dieExcentricität der Bilder, also auf die Identität, gegründete Berechnung und der Beobachtung viel zu wünschen übrig. Zudem wechseln die Resultate von einem Tage zum andern, ja von einer Stunde zur andern; kurz das Ergebniss der Beobachtung stimmt mit der Voraussetzung der Identität viel weniger als z. B. die Fälle einer totalen Muskellähmung, und man wird gar häufig auf das Vorhandensein eines inconstanten Factors gewiesen. — Andrerseits ist nicht der geringste Zweifel an dem von v. Gräfe aus überaus massenhaften Beobachtungen gezogenen Resultate, dass in der weitaus überwiegenden Mehrheit der operirten Schielfälle, nicht wie obiges Raisonnement erfordert, gekreuztes, sondern gleichnamiges, wenn auch nicht immer der Augenstellung genau entsprechendes Doppeltsehen beobachtet wird.

Wie ist diese Thatsache, von der auch ich mich oft genug überzeugt habe, zu erklären? Steht sie mit den von mir vertheidigten Prinzipien in nicht zu lösendem Widerspruch?

Eine oben von mir aufgestellte Regel besagt, dass der Stand des Doppelbildes das Maass sei für die Alienation des Muskelgefühls, für die Störung des Bewusstseins von der Augenstellung, dass man von der Richtung, in der ein Object gesehen wird, unmittelbar auf die augenblicklich stattfindende Vorstellung von der Lage der Netzhaut in der Orbita schliessen könne. Dies hier angewendet, werden die gleichnamigen Doppelbilder noch einer Tenotomie des contracturirten Internus bedeuten, dass nunmehr nicht die Vorstellung bestehe, das Auge befinde sich in der alten Schielstellung, sondern in der Fixationsstellung, daher die Dislocation des Netzhautbildes nicht nach der früher eingenommenen Stellung, sondern nach der Fixationsstellung taxirt wird. Es fragt sich, ob für diese Vorstellung sich Gründe finden lassen. Ich glaube wohl. Wenn ich auch das psychische Element, die Erwartung, dass das Auge nach der Operation richtig stehen werde, gering anschlage, da, wie schon mehrfach erwähnt, der Einfluss der höhern geistigen Thätigkeit auf die hier in Betracht kommenden sinnlichen Vorgänge sehr gering zu sein scheint, so bietet doch auch das physische, der Controlle zugänglichere Element, Anhaltspunkte. Die plötzliche Entspannung des Muskelapparats durch die Ablösung des contracturirten Muskels, die dadurch erfolgte Entlastung des Bulbus von einem pathologischen Druck wird unzweifelhaft als eine günstige Veränderung wahrgenommen. Wie einflussreich dieselbe ist, beweist unter Andern die bedeutende Hebung der Sehkraft, die sich zuweilen ganz plötzlich nach der Operation einstellt. Es ist wahrscheinlich, dass beim Strabismus, wenigstens in frischeren Fällen, ähnlich wie bei Contracturen, ein permanentes Gefühl eines Hemmnisses der Bewegung besteht, das Bewusstsein einer abnormen Last, die bei jeder Augenbewegung zu überwinden, ist und die eine gleichzeitige Einstellung des Auges mit dem gesunden Auge unmöglich macht, oft auch die Accommodation stark beeinträchtigt. Dass das plötzliche Verschwinden dieses Hemmnisses, insbesondere die leichtere Thätigkeit des Antagonisten sofort bemerkt werde, dass ein Bewusstsein der Befreiung aus einer Gewalt, die so lange das Auge gefangen gehalten hat, vorhanden sei, scheint mir durchaus nichts Wunderbares und Unerklärliches zu enthalten, und die Vorstellung, dass das Auge nun in seine richtige Stellung eingetreten sei, dürfte die naturgemässe Folge davon sein. Aber auch einige Unsicherheit in der Beurtheilung der Stellung, einiges Schwanken in der Projectionsweise wird man erklärlich finden.

Gern gebe ich zu, dass ich in diesem Punkte keinen strengen Beweis geliefert habe, allein ich glaube, dass meine Auffassung sich den Thatsachen einfach und natürlich anschliesst, wenigstens sicherlich nicht so unlösbare Widersprüche enthält, wie sie in der Identitätslehre nicht zu verkennen sind.

Dass nicht alle Fälle von Strabismus sich gleich verhalten, braucht nicht aufzufallen; denn wie unendlich verschiedenartig ist die Reihe dieser Fälle ihrer Aetiologie, ihren Symptomen, ihrer Dauer nach! Bei einem Strabismus alternans, wo die Sehkraft beider Augen in steter Uebung ist, und beim Strabismus monolateralis, wo das schielende Auge zu einem sehr geringen Grade von Thätigkeit herabgesunken ist — bei einem Strabismus, der die Folge einer Ophthalmie in den ersten Lebenswochen ist und bei einem Strabismus, der im späteren Lebensalter nach rheumatischer Parese eines Muskels entsteht, — bei einem divergirenden Sekundärschielen, wo die Thätigkeit des Auges in dem Ueberblicken eines grossen dem Normalsehenden entzogenen Abschnittes des Gesichtskreises besteht und bei einem hochgradigen Strabismus convergens, wo die Pupille in der Orbita verborgen ist — in so grundverschiedenen Fällen kann man nicht Alles nach einer Schablone verlangen. Es werden sich die Gesetze der Differenzen ohne Schwierigkeit nachweisen lassen, und die Individualisirung der Fälle wird die Erklärung auf physiologischer Basis ermöglichen.

Ohne auf die Einzelheiten dieser Fälle weiter einzugehen, gedenke ich nur noch der von A. v. Gräfe und A. Gräfe mitgetheilten Fälle, in denen nach der Schieloperation Erscheinungen des Doppeltsehens auftraten, welche von den Erwartungen, die man auf Grund der Identitätslehre hegen musste, so bedeutend abweichen, dass man sich genöthigt sah, theils ein gestörtes Identitätsverhältniss, eine Incongruenz der Netzhäute anzunehmen, theils auf jede rationelle Erklärung zu verzichten.

Schon bei älteren Lähmungen der Augenmuskeln, namentlich den complicirteren, wo mehrere Muskeln zugleich afficirt sind, oder wo bereits sekundäre Contracturen eingetreten sind, — viel mehr aber noch nach operativen Eingriffen in den Augenmuskelapparat zeigen sich bisweilen Irregularitäten im Doppeltsehen, die sich der Vorausberechnung entziehen. Der Ort der spontan gesehenen oder künstlich hervorgerufenen Doppelbilder entspricht nicht der Excentricität der Netzhautbilder. Bald sind es kleine Abweichungen, die sich auf die Grösse des Abstandes der Doppelbilder beziehen; bald werden die Bilder in ganz verkehrter Richtung wahrgenommen, — bald werden die Irregularitäten unter gleichen Verhältnissen gleichmässig angegeben, bald sind sie inconstant und wechselnd. Wenn man für die Richtung des Sehens ein normales Muskelgefühl als wesentlich bestimmend ansieht, so haben im Allgemeinen solche Erscheinungen nichts Auffallendes; denn es handelt sich um Fälle, wo durch verwickelte pathologische Verhältnisse das Muskelgefühl nothwendig in hohem Grade verwirrt sein muss, wo eine richtige Projection eher einer Erklärung zu bedürfen scheint, als eine unrichtige. Sehr belehrend ist es nun, solche Fälle im Einzelnen zu verfolgen, die Gründe zu eruiren, welche die Abnormitäten bestimmen und den Einfluss zu untersuchen, welchen nen Umständen der Sehact zu äussern im Stande

ist. Für die Identitätslehre sind jene Erscheinungen ein Stein des Anstosses und die kleinen irregulären Abweichungen fast mehr noch als die grossen constanten, in denen sich wenigstens noch ein Gesetz nachweissen lässt. Wollten die Anhänger des Identitätsprincips dem Muskelgefühl einen Einfluss zuschreiben in der Weise, wie ich es thue, so würden sie mit sich selbst in Widerspruch gerathen; denn die Sehrichtung wird je nach ihrer Hypothese nicht durch die mittels des Muskelgefühls gegebene Visirlinie bestimmt, sondern durch das Identitätsverhältniss der getroffenen Bildstelle. Und doch werden sie durch die Thatsachen dazu gedrängt, diesem Factor die ihm gebührende Bedeutung einzuräumen, wie dies denn auch in einem oben bereits erwähnten Punkte geschehen ist. Der logische Widerspruch wird sich daraus erklären, dass, wie ich später darzulegen versuchen will, bereits der Annahme der Identität ein logischer Irrthum zu Grunde liegt.

Kleine Anomalien und Unbestimmtheiten in der Stellung der Doppelbilder bleiben für die Identitätshypothese unerklärt, oder es wird inconsequenter Weise, aber mit Recht das gestörte Muskelgefühl in Anspruch genommen. Für die grösseren regelmässigeren Abweichungen half man sich mit der neuen Hypothese: Incongruenz der Netzhäute. Nachdem schon de la Hire jedes Schielen dadurch begründet geglaubt hatte, dass der empfindlichste Theil der Netzhaut nicht im hintern Pol des Auges liege, stellte zuerst Joh. Müller als eine besondere Art des Schielens den Strabismus incongruus auf. „Die Art des Schielens, welche ich meine", sagt er „ist angeboren und unheilbar; sie beruht auf einem Unterschied in der Lage der identischen Stellen der Netzhäute beider Augen; so dass diese zwar vollkommen subjectiv eins sind, das Identische aber in beiden Augen anderen Meridianen angehört, dass z. B. der Mittelpunkt der Netzhaut in dem einen Auge einer identischen Stelle des anderen Auges entspricht, welche vom Mittelpunkte des Auges selbst entfernt ist. Und derselbe Unterschied des Raumes tritt so zwischen allen andern identischen Theilen ein. Wodurch das Subject gezwungen ist, gerade um des deutlichen und einfachen Sehens willen, nicht die Augenachsen in dem Object der Fixation zu kreuzen, sondern die Augen so schielend zu stellen, dass die örtlich verschiedenen identischen Stellen beider Augen gleiche Eindrücke erhalten*)". Während also Müller sonst das schielende Auge unthätig sein liess, war der Strabismus incongruus gerade ein Beweis der Mitwirkung beim Binocularsehen. Dies Schielen aus Incongruenz sei, meint Müller „nicht selten, in der Regel aber nur gering." v. Gräfe weist mit Recht darauf hin, dass der Schluss auf Incongruenz der Netzhäute in jenem Falle durchaus nicht gerechtfertigt ist. Asymmetrischer Bau des Bulbus, Störungen in den brechen-

*) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns pag. 230.

den Medien, Netzhautleiden können den bezeichneten Fehler in der Augenstellung veranlassen, ohne dass in der Lage der Stelle desselben Flecks eine Abnormität stattfindet. Dazu kommt, dass schon im normalen Auge die Sehaxe (oder genauer Gesichtslinie) nicht mit der Axe des Auges zusammenfällt und die Abweichung bei verschiedenen Individuen verschieden ist. Obgleich nach den Bestimmungen von Th. Young, Helmholtz, Knapp jene Abweichung, welche stets in der Weise stattfindet, dass das vordere Ende der Gesichtslinie auf der Nasenseite des vorderen Augapfelpols liegt, nur zwischen $^1/_2$ und 1 Millimeter beträgt, so ist das doch eine Grösse, welche in den höheren Graden sich der Beobachtung keineswegs ganz entzieht.

Die Fälle von inveterirtem Strabismus, wo die abnorme Fixation des schielenden Auges darin begründet ist, dass ein excentrischer Netzhauttheil empfindlicher ist, als das amblyopische Centrum, will v. Gräfe von dem Schielen aus Incongruenz streng geschieden wissen.

Pickford, welcher den Nutzen und die Thätigkeit des schielenden Auges beim Sehen in mehrfacher Beziehung schlagend nachwies, musste, der Identität zu Liebe, vollkommen consequent in jedem Falle von Schielen, wo kein Doppeltsehen stattfindet, Incongruenz der Netzhäute annehmen. Dann musste man aber auch zugeben, dass die Incongruenz erworben werden könne, dass überhaupt die Congruenz nichts Angebornes sei. v. Gräfe wiederum hielt an der angebornen anatomisch begründeten Identität fest und musste folgerecht die Thätigkeit des schielenden Auges als auf ein Minimum beschränkt ansehen. Es sollte keine Distinction, sondern nur eine allgemeine „quantitative" Reizung in der Netzhaut des schielenden Auges stattfinden. Die Beweise für dies höchst merkwürdige Verhältniss scheinen mir nicht vollkommen überzeugend zu sein, und ich muss ein Urtheil hierüber einstweilen zurückhalten. Dass aber schon die seitliche Vergrösserung des Gesichtsfeldes des schielenden Auges, welche v. Gräfe anerkennt, dem Identitätsprincip widerstreitet, glaube ich oben nachgewiesen zu haben. v. Gräfe ist aber darin consequent, dass er nun auch für die Incongruenz der Netzhäute wirkliche anatomische Abweichung statuirt.

Die Fälle, welche nun unter den reducirten Begriff der Incongruenz fallen, lassen sich in zwei Classen eintheilen, deren Charakteristik ich mit A. Gräfe's Worten gebe*).

a) Jedes Auge für sich fixirt wie gewöhnlich mit dem Orte des centralen Sehens: dieser also ist in beiden der in der Perceptionsenergie über die andern Netzhautpunkte prävalirende. Dabei sind jedoch diese beiden Punkte nicht wie gewöhnlich identische, d. h. die gleichzeitige Erregung beider lässt keine einige Gesichtswahrnehmung zu

*) *l. c. pag. 234.*

Stande kommen, sondern führt zur Diplopie. Der mit der Macula lutea des normalen Auges identische Netzhautpunkt des andern zeigt in Bezug auf die Deutlichkeit der Sinneswahrnehmung durchaus keine Bevorzugung.

b) Das normale Auge fixirt mit dem Centrum, das abnorme mit einem excentrisch nach innen gelegenen Punkte, welcher in Relation auf die Macula lutea des ersteren Auges zugleich der Identitätspunkt ist. Hier ist also ein wirklich vicarirendes Netzhautcentrum mit allen physiologischen Qualitäten desselben: Prävalenz der Wahrnehmungsenergie, Identität mit der Macula lutea des andern Auges vollständig vorhanden.

Endlich c) hat v. Gräfe einen merkwürdigen Fall von „scheinbarer Incongruenz durch anomalen Eintritt des Opticus" veröffentlicht*). Die Sehnervenpapille befinde sich, wie ophthalmohlogisch festgestellt wurde, zu weit nach innen, und die Stelle des directen Sehens war in gleicher Weise dislocirt, aber in normalem Abstand von der Papille. Beim Fixiren mit diesem Auge schoss also die Augenaxe um einen constanten Winkel (15^0) vorbei. Da Doppeltsehen in diesem Falle nicht stattfand, so gehört derselbe nicht weiter hierher.

Die erste Kategorie von Fällen ist nicht gar zu selten. v. Gräfe hat über eine ziemliche Anzahl derselben berichtet. Die Symptome erklären sich auf das Einfachste nach den obigen Grundsätzen, wie ich an einem Beispiele auszuführen versuchen will. Es wird nämlich das Netzhautbild so projicirt, als stände das Auge in der alten Schielstellung. Die Operationswirkung ist also nicht zur Empfindung, nicht ins Bewusstsein gelangt. Bemerkenswerth ist, dass es sich stets um ganz veraltetes, von frühester Jugend an bestehendes Schielen handelt, und dass meist mehr als eine Tenotomie ausgeführt worden war. War das Schielen convergirend, wie in der Mehrzahl der Fälle, so ist das Doppeltsehen gekreuzt, war es divergirend, wie in zwei von v. Gräfe beobachteten Fällen, so ist das Doppeltsehen gleichnamig. Uebrigens hat v. Gräfe für einen Theil jener Fälle es ganz richtig erkannt, dass sie „ein Folgeübel des Strabismus monolateralis**)" sind, dass also das, was als Incongruenz imponirt, nicht angeboren, sondern erworben ist. Ich trage kein Bedenken, alle diese Fälle, so weit sie mir bekannt sind, durch einen Irrthum über die Stellung des operirten Auges zu erklären, mit dem Congruenz und Incongruenz der Netzhäute nichts zu schaffen haben. Es scheint mir nicht überflüssig, an einem Beispiele meine Auffassung auszuführen und ich benutze dazu einen von v. Gräfe mitgetheilten Fall***).

*) Archiv für Ophthalm. I. 1. pag. 435.

**) Archiv für Ophthalm. I. 2. pag. 294.

***) Archiv für Ophthalm. I. 1. pag. 97.

Ein 18jähriges Mädchen, welches seit erster Kindheit convergirend schielte, war auf beiden Augen operirt worden, und die Stellung der Augen fast vollkommen regulirt, so dass nur beim Fixiren eines fernen Objects eine unbedeutende convergente Abweichung des linken Auges bestand. Jedes Auge einzeln fixirte mit normaler Richtung der Sehaxen. Es bestand gekreuztes Doppeltsehen für jede Entfernung des Gesichtsobjects; bei zunehmender Entfernung wurde die Distanz der Doppelbilbilder relativ kleiner. Der Winkel, um welchen die Projection von der richtigen abwich, wurde auf 14° berechnet. Fasste man die Conjunctiva des linken Auges mit einer Hakenpincette, liess einen in der Mitte liegenden Gegenstand fixiren, und lenkte nun die Sehaxe des linken Auges mit der Pincette nach innen, so näherten sich die gekreuzten Doppelbilder und fielen zusammen, wenn die Augenaxe circa 11° nach innen vom Object vorbeischoss. Wenn das Auge noch mehr nach innen gezogen wurde, traten gleichnamige Doppelbilder auf.

Es ist klar, dass die Identitätstheorie hier gleichnamiges Doppeltsehen verlangt. Die gekreuzte Lage der Bilder ist aber erklärlich, sobald man annimmt, dass die Vorstellung bestehe, das linke Auge befinde sich noch in der von frühester Kindheit auf gewohnten Schielstellung. Das Netzhautbild des fixirten Objectes, welches jetzt ungefähr das Centrum der Netzhaut trifft, wird in solcher Richtung projicirt, als befinde sich das Netzhautcentrum in seiner früheren Stellung, nämlich weiter aussen, daher die ungleichnamige Stellung der Doppelbilder. Dass bei Fixation entfernterer Objecte die Distanz der Bilder relativ geringer ist, stimmt damit überein, dass alsdann noch einige Convergenz eintritt. Der Irrthum über die Stellung des Auges ist alsdann etwas geringer. Dass wirklich die Idee von der Stellung des Auges eine unrichtige ist, dürfte durch verschiedene Versuche zu belegen sein. v. Graefe führt einen völlig beweisenden Versuch an, die mechanische Verschiebung des Auges mit der Pincette, welche die Doppelbilder einander nähert. Die passive Dislocation liegt natürlich ausserhalb des Bewusstseins und die Stellung des verschobenen Auges, für welche die Doppelbilder sich decken, ist diejenige, in welcher das Auge vorher gedacht wurde, und welcher gemäss die Nachaussenverlegung der Bilder geschah. Wie diese Manipulation, am gesunden Auge ausgeführt, die Richtung des Sehens ändert, also Doppeltsehen macht, so wird auch hier die Sehrichtung geändert. Ich will hier nicht wiederholen, was ich oben über die dabei stattfindenden Scheinbewegungen gesagt habe.

Die Fälle der zweiten Gruppe, welche v. Gräfe als die eigentliche wahre Netzhaut-Incongruenz bezeichnet, sind viel seltener, nur ein Fall ist in extenso mitgetheilt worden *). Ich gebe einen kurzen Auszug aus demselben.

*) v. Gräfe l. c. pag. 105.

„Ein 22jähriges Mädchen litt seit der Kindheit an hochgradigem Schielen des linken Auges. Bei Verschluss des rechten Auges wurde die Augenaxe des linken nicht richtig eingestellt, sondern schoss circa 25° nach innen am Gesichtsobject vorbei, ein Verhältniss, das für die verschiedenste seitliche Haltung des Objects sich immer gleich blieb; das Auge war dabei in hohem Grade schwachsichtig, die Kranke konnte die Finger nur in einigen Fuss Entfernung zählen und von einer Schrift von 5‴ Höhe einzelne Buchstaben mühsam entziffern.“ Nach beiderseitiger Rücklagerung des Internus war die Augenstellung approximativ richtig und doch fand Doppeltsehen statt mit gekreuzten Doppelbildern von sehr bedeutendem Abstande. Wie vor der Operation schoss die Augenaxe bei einseitiger Fixation mit dem linken Auge um 25° am Gesichtsobject vorbei, zu welchem Zweck es vor der Operation bedeutend nach aussen, jetzt nach innen abweichen musste. Die mechanische Verrückung des Bulbus mit Hülfe einer eine Conjunctivafalte fassenden Pincette wurden auch hier mit gleichem Erfolge wie in dem früheren Falle vorgenommen. Die Doppelbilder näherten sich und fielen zusammen, wenn die Innenwendung circa 25° erreicht hatte. „Schloss ich,“ sagt v. Gräfe „bei dieser Stellung das rechte Auge und liess die Pincette vom linken los, während ich der Kranken anempfahl, das frühere Gesichtsobject mit dem linken scharf zu fixiren, so trat nicht die mindeste Veränderung in der letzt erwähnten Stellung ein, so dass ich mich durch diesen häufig wiederholten Versuch auf das Bestimmteste versichert zu haben glaube, dass derjenige Theil der linken Netzhaut, mit welchem die Kranke fixire, wirklich mit der Macula lutea des rechten Auges identisch sei.“ Das vicariirende Centrum der Netzhaut musste 3,5 mm. nach innen von der Grenze des Mariotte'schen Flecks angenommen werden, worin alle Untersuchungsmethoden, auch die ophthalmoskopische, übereinstimmten. v. Gräfe vermuthet an dieser Stelle ein die Charaktere der Macula lutea besitzendes physiologisches Centrum. Gemeinschaftliches Sehen habe jedoch nicht stattgefunden, weil bei der Schielstellung das Centrum nicht eingestellt worden sei. — Der weitere Verlauf des Falles war der, dass ohne wesentliche Veränderung in der Augenstellung die Diplopie ihren störenden Einfluss verlor und nur bei besonderer Aufmerksamkeit zur Wahrnehmung gelangte.

v. Gräfe sieht durch diese Beobachtung die Incongruenz als erwiesen an; ich darf jedoch meine Zweifel auch hier nicht verschweigen. Meines Erachtens erklärt sich der Fall durchaus wie der vorige. Das gekreuzte Doppeltsehen ist auch hier augenscheinlich von einer falschen Auffassung der Stellung abhängig; der Versuch mit der Verschiebung des Auges dürfte jeden Zweifel darüber beseitigen. Der Unterschied beider Fälle besteht darin, dass das centrale Sehen im zweiten Falle in höherem Grade abgenommen hat, so dass eine stark excentrische Netz-

hautparthie die sehkräftigste war. Um jedoch als physiologisches Centrum der Netzhaut gelten zu können, dazu fehlte dieser Stelle vor Allem die normale Sehschärfe, welche ausser der anatomischen Beschaffenheit das einzige Criterium bildet. Wo nicht die Sehschärfe eines excentrischen Netzhauttheils die normale Schärfe eines so gelegenen Theils manifest um ein Bedeutendes übertrifft, da ist man nach meinem Dafürhalten nicht berechtigt, von einer Lageveränderung des physiologischen Centrums zu sprechen. Aber selbst, wenn ein Fall beobachtet würde, wo diese Bedingung erfüllt ist, wo ein excentrischer Punkt die Schärfe sogar der normalen Stelle des directen Sehens besitzt, und constant zum Fixiren eingestellt wird, wo sich ophthalmoskopisch nachweisen lässt, dass dieser Punkt die Eigenschaften der Macula lutea besitzt, so würde ich doch darin keine Incongruenz sehen — da ich keine Congruenz kenne — sondern einfach eine Lageveränderung der Retinatheile unter einander, eine Ectopia maculae luteae. Von Interesse ist, dass in dem einzigen ähnlichen Falle, der bekannt geworden ist (s. oben) zugleich der Sehnerv dislocirt war und es dürfte dies nicht ohne Bedeutung für die Entwickelungsgeschichte der Retina sein.

Im vorliegenden Falle könnte es einiges Bedenken erregen, und v. Gräfe beruft sich darauf, dass die Fixation bei so starker Excentricität doch eine verhältnissmässig sichere war und dass das Sehvermögen vielleicht etwas besser war, als es selbst im normalen Auge in Parthien von gleicher Excentricität zu sein pflegt. Allein grosses Gewicht möchte ich diesem Bedenken nicht zuerkennen. Beides steht nicht ohne Beispiel da, und das aus frühester Kindheit datirende Leiden, die lange Uebung und Gewohnheit dürfte wohl einen Erklärungsgrund abgeben. Allerdings ist es noch nicht sicher ermittelt, warum in einer andern Reihe von Fällen das centrale Sehen besser erhalten bleibt (cf. pag. 132). Da es aber an den verbindenden Zwischengliedern nicht fehlt, so scheint mir gegen die Vermuthung, in jenen Beispielen handle es sich um ein consecutives Leiden, nichts Erhebliches eingewendet werden können.

v. Gräfe sucht nach dem erwähnten und einem ferneren nicht bekannt gemachten Falle, die Diagnostik der Incongruenz vor der Operation zu begründen. Dass das Schielen von der Geburt sich herschreibt, dass es ohne die gewöhnlichen Ursachen (Ophthalmie, Trübungen) entstanden sei, die Aberration der Sehaxe in constantem Winkel, etwas besseres Sehvermögen — diesen Zeichen scheint v. Gräfe selbst nicht grosse Bedeutung beizulegen; für entscheidend dagegen hält er künstlich hervorgerufenes Doppeltsehen. Er sagt: „Durch die Abschwächung des gesunden Auges mittels violetter Gläser lässt sich dieser Zweck aber nicht erreichen, sondern entweder, indem das Auge künstlich mit einer Pincette herumgedreht wird, oder durch prismatische Gläser.“ Ein Beispiel jedoch, wo die sogenannte Incongruenz vor der Operation erkannt worden wäre,

ist bis dato noch nicht veröffentlicht worden, und es muss abgewartet werden, ob die Abnormitäten der Sehrichtung auch ohne vorgängige Operation bei reinem concomitirenden Schielen vorkommen, und ob es Merkmale giebt, welche die später zu Tage tretende Disharmonie schon vor der Operation voraussagen lassen. Ich kann jedoch nicht unterlassen zu wiederholen, dass das durch die Drehung des Auges mit der Pincette erzeugte Doppeltsehen nicht in dem erwähnten Sinne zur Diagnose verwerthet werden darf, und verweise ich hierüber auf die früher gemachte Bemerkung über die mechanische Verschiebung des Augapfels.

Noch merkwürdigere Phänomene als die bisher beschriebenen bieten sich in seltenen Ausnahmsfällen dar, die unter Tausenden von Schielfällen nur wenige Male zur Beobachtung gelangt sind. Weder die Identität vermag hier Zusammenhang in die Thatsachen zu bringen, noch auch wird durch die Supposition einer Incongruenz der Netzhäute Licht in das Dunkel gebracht, und die Autoren haben sich begnügt, die treu und exact beobachteten Fälle als zur Zeit unerklärbar, als Paradoxa hinzustellen. Auch diese Beobachtungen lassen sich, wie ich glaube, mit Berücksichtigung der durch die operativen Eingriffe erzeugten Störungen des Muskelgefühls und mit Beseitigung aller Identitätstheorie ungezwungen erklären. Etwas Allgemeines lässt sich freilich hierüber bei der spärlichen Erfahrung noch nicht sagen; jeder Einzelfall wird nach den obwaltenden Umständen seine Eigenthümlichkeiten haben, und nur durch scharfe Individualisirung kann ein befriedigendes Verständniss der Fälle erreicht werden. Ich unterlasse es, die publicirten Fälle, drei an Zahl*), hier zu analysiren, da ich sie sonst in extenso wiedergeben müsste, und da auch die Detailangaben nicht in allen Punkten so vollständig sind, um ein ganz sicheres Urtheil möglich zu machen. Wer den oben ausgesprochenen Ideen beipflichtet, wird die Anwendung auch auf jene Fälle leicht machen können. Hier will ich nur noch darauf aufmerksam machen, dass der Complicirtheit der Erscheinungen in den gedachten Fällen die Complicirtheit der Umstände entspricht. Alle drei Fälle betrafen sehr inveterirte, auf beide Augen sich erstreckende Muskelveränderungen. Der Strabismus war, wie ich besonders hervorhebe, ein **alternirender** mit vorzugsweiser Benutzung eines Auges (so wenigstens in zwei Fällen, im dritten ist darüber nichts Näheres gesagt, doch war das Verhalten wohl ein ähnliches); in allen drei Fällen endlich hatte die Operation auf beiden Augen stattgefunden.

Ich brauche wohl nicht hinzuzufügen, dass ich die berührten Fragen in keiner Weise für abgeschlossen halte; nur möchte ich etwas dazu beigetragen

*) Archiv f. Ophth. II. 1. pag. 284 und Gräefe l. c. pag. 236.

haben, einem in der Physiologie des Sehens im gesunden wie im kranken Zustande bisher zu wenig berücksichtigten Factor die ihm gebührende Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Sechstes Capitel.

Die Lehre von der Identität der Netzhäute.

Ich habe es vorgezogen, zuvörderst die Erscheinungen des Binocularsehens die Revue passiren zu lassen und im Einzelnen zu zeigen mich bemüht, wie weit dieselben bei dem dermaligen Stande unserer Kenntnisse auf rationelle Weise zu erklären sind, ehe ich die Hypothese, welche man als zu gedachtem Zwecke unentbehrlich zu betrachten sich gewöhnt hat, einer speciellen Analyse unterwerfe. Auf dem Boden der Thatsachen glaubte ich sicherer zu stehen als auf dem allgemeiner Reflexionen und der Zweifel, welche meinen Behauptungen entgegengestellt werden können, hoffte ich leichter Herr zu werden, wenn es mir gelänge, den Zusammenhang der Thatsachen, zu deren Verständniss man der Hypothese zu bedürfen meinte, ohne solche und trotz solcher klar zu legen. Wenn ich einen Theil meiner Gründe gegen die Identitätstheorie bereits im Verlaufe der Discussion an verschiedenen Stellen vorgebracht habe, so wird man mir doch hier, wo die Gründe für und wider zusammengestellt und abgewogen werden sollen, einige Wiederholungen gestatten. Ich werde mich in manchen Punkten kurz fassen und auf das Frühere verweisen können.

Nach einem kurzen Rückblick auf die Geschichte der Identitätstheorie werde ich zunächst die Gründe anführen, welche man zur Stützung oder zum Beweise derselben angeführt hat, alsdann diejenigen, welche mir für die Verwerfung der Hypothese zu sprechen scheinen.

Die Idee von der functionellen Zusammengehörigkeit der der Lage nach correspondirenden Punkte beider Netzhäute, so dass die gleichzeitige Reizung solcher Punkte, und nur solcher Punkte eine einfache Empfindung oder Wahrnehmung hervorrufe, diese Idee ist eine sehr alte, durch Jahrhunderte fortgeerbte. Das Einfachsehen mit zwei Augen schien jenes Verhältniss zu postuliren. Es ist einleuchtend, dass der Satz: Einfachsehen findet statt, wenn die Bilder und Punkte auf correspondirende, Doppelsehen, wenn sie auf differente Netzhautstellen fallen, nicht den Grund des Einfachsehens enthält, sondern die Umstände, unter denen das Einfachsehen erfolgt, es sei denn, dass die Zusammengehörigkeit gleichliegender Punkte auf anderen Wegen nachgewiesen wäre.

Bekanntlich ist der Versuch, auf anatomischem Wege die Zusammengehörigkeit der Punkte zu erweisen, eben so oft als er unternommen wurde, misslungen, und der Beweis musste durch Hypothesen ersetzt werden; daher denn auch die ganze Lehre lange Zeit mannigfachen Widerspruch erfuhr und manche andre Anschauungen neben sich dulden musste. Erst Joh. Müller gelang es, dieser Lehre eine allgemeine Verbreitung zu geben, nachdem er durch seine bekannten Versuche die „subjective Identität der Netzhäute" erwiesen und befriedigende Erklärungen für das Einfach- und Doppeltsehen geliefert zu haben schien. Einen anatomischen Beweis der Zusammengehörigkeit der Identitätspunkte, so nannte er dieselben, blieb auch er schuldig*). Nach Joh. Müller hat sich meines Wissens nur einmal ernstlicher Widerspruch gegen das Gesetz der Identität erhoben. Wheatstone, auf die Versuche mit dem Stereoskop gestützt, läugnete die Richtigkeit des Identitätsgesetzes, bekennt aber, dass er nicht im Stande sei, Etwas an die Stelle desselben zu setzen, das die Erscheinungen zu erklären vermöge. Diesem negativen Standpunkte ist es wohl zuzuschreiben, dass die in seinen Behauptungen enthaltene Wahrheit verkannt wurde, dass das Bestreben der Physiologen vielmehr dahin gerichtet war, die neuen Ercheinungen des Binocularsehens ohne Gefährdung der alten Theorie dem Systeme einzureihen. Man erkennt an, dass ungleiche Netzhautbilder in der Wahrnehmung vereinigt werden können, ja Mancher sah in der Ungleichheit der Bilder das Wesen des Körperlichsehens, aber die Identität wollte man nicht opfern. Brücke's Erklärungsversuch durch ununterbrochenen Wechsel der Sehweite und der Fixationspunkte fand allgemeinen Anklang und auch Dove's Beweis, dass bei momentaner Dauer der Beleuchtung durch den elektrischen Funken, wo also eine Wirksamkeit des Muskelapparats nicht möglich war, dennoch incongruente Netzhautbilder eine körperliche Wahrnehmung lieferten, vermochte der allgemeinen Geltung der Brücke'schen Ansicht keinen Eintrag zu thun. Nachdem die Identität durch Brücke gerettet schien, suchte man die Lage der identischen Punkte, über die man sich bis dahin sehr allgemein und unbestimmt ausgedrückt hatte, genauer zu bestimmen. Punkte der Netzhäute, die unter gleichen Meridianen und gleichen Parallelkreisen liegen, die Stelle des schärfsten Sehens als Pol betrachtet, sollten identisch sein, eine Annahme, welche erst Meissner und v. Recklingshausen schärfer zu beweisen trachteten. Identische Netzhauthälften sollten durch grösste Kreise begrenzt sein, für welche Ruete

*) „Die Congruenz der identischen Stellen beider Netzhäute ist eine angeborne, und sie bleibt immer unverändert. Beide Augen sind gleichsam zwei Zweige mit einfacher Wurzel und jedes Theilchen der einfachen Wurzel ist gleichsam in zwei Zweige für beide Augen gespalten".

die Benennung der verticalen und horizontalen Trennungslinien einführte. Meissner machte darauf aufmerksam, wie bei verschiedenen Augenstellungen die Lage der Netzhäute derartig geändert werde, dass die verticalen Trennungslinien nicht mehr vertical sein können. Durch das Experiment suchte er für die verschiedenen Augenstellungen die Lage der identischen Meridiane zu ermitteln. Sollten Meissners Versuche beweisen, dass gewisse Meridiane der einen Netzhaut identisch seien mit solchen der andern Netzhaut, so suchte v. Recklingshausen die Identität correspondirender Parallelkreise zu begründen. Er glaubte mit mathematischer Schärfe darzuthun, dass die in identischen Meridianen gelegenen identischen Punkte gleichen Abstand vom hinteren Pol haben. Meissner's Theorie habe ich oben zu widerlegen gesucht, v. Recklingshausen's Deductionen glaubte ich nicht mit gleicher Ausführlichkeit behandeln zu dürfen, da denselben ähnliche irrige Voraussetzungen zu Grunde liegen, wie bei Meissner. Ich führe noch an, dass v. Recklingshausen zu dem an sich richtigen, nur nicht genügend allgemeinen Resultat gelangt, dass nicht in allen Stellungen alle correspondirenden Punkte in der Lage sind, ihre Richtungsstrahlen im Raume sich schneiden zu lassen*), worin ein nicht unwichtiger Schritt vorwärts liegt.

Eine genauere Untersuchung der stereoskopischen Erscheinungen drängte vor Kurzem Panum Zweifel an der Richtigkeit der Identitätslehre in ihrem vollen Umfange auf; doch ohne den Kernpunkt des Princips anzugreifen, suchte er einen Widerspruch derselben durch eine unglückliche Emendation zu beseitigen. Sein Corollarium zum Identitätsgesetz, die Aufstellung von Identitätskreisen der einen Netzhaut, welche mit gewissen Punkten der andern Netzhaut einfache Wahrnehmungen liefern sollen, ist oben bereits als nicht stichhaltig dargethan worden. v. Hasner nimmt Panum gegenüber wieder die Identität in Schutz und will das Gesetz in voller Integrität herstellen. Mit den Beweisen macht er es sich gar zu leicht. „Es ist eine Thatsache der täglichen Erfahrung", sagt er, „dass beide Augen gleiches Sehvermögen besitzen; die Fähigkeit der Orientirung im Raume kommt beiden in gleichem Maasse, in gleicher Schärfe zu. Daraus (?) resultirt mit Nothwendigkeit, dass identische Eindrücke, welche beide Retinen an gleicher Stelle treffen, einfach empfunden werden."

Volkmann begegnet der Panum'schen Hypothese mit besseren Gründen, macht aber einen neuen Versuch unter vollständiger Conservirung der Identität, die widerspenstigen Facta mit der Doctrin in Einklang zu bringen. Er giebt zu, dass das Einfachsehen bei Erregung differenter Elementartheile der Netzhaut einen anatomischen Grund nicht haben könne; aber sein Bemühen, die psychische Thätigkeit beim

*) l. c. pag. 143.

Sehen ins helle Licht zu stellen, veranlasst ihn, wie ich im Einzelnen zu zeigen versucht habe, zu einer zu grossen Ausdehnung dieses Elements, und zur Vernachlässigung des fundamentalen Mechanismus des Sehens. Neue Gründe für die Identität hat Volkmann nicht beigebracht.

Streng bewiesen würde die functionelle Zusammengehörigkeit der Retina erst dann sein, wenn die Verbindung derselben anatomisch dargestellt wäre. Nach einer solchen Verbindung ist denn auch oft gesucht worden. Am nächsten lag die Annahme, dass die primitiven Nervenfasern, welche zu correspondirenden Punkten gehören, nach der Kreuzung der Sehnervenfasern im Chiasma sich zu je einer Faser vereinigen. Dies würde alle Postulate der Identitätslehre befriedigt haben. Zum Glück ist eine solche Spaltung der Primitivfasern in zwei Endzweige nie beobachtet worden; wäre sie es, so würden wir uns in der Unmöglichkeit befinden, eine grosse Anzahl von Gesichtsphänomenen zu verstehen. Man fand, dass im Chiasma ein Theil der Fasern sich kreuzt, ein anderer Theil aber dem Truncus derselben Seite verblieb; beide Trunci optici trugen also zur Bildung jedes Sehnerven bei. Dies war schon gegen die Erwartung; aber die Fasern konnten auch weithin verfolgt werden, ohne zu verschmelzen. Man vermuthete also einen Zusammenhang der Fasern im Gehirn, entweder directe Verbindung der aus beiden Netzhäuten kommenden Fasern, oder Endigung je zweier Fasern in eine Ganglienzelle, oder schleifenartige Verbindung durch Vermittelung des Chiasma, oder endlich commissurenartige Vereinigung der rechten und linken Faser im Centralorgane. Alles das sind aber rein hypothesische Annahmen, die nur von der Festigkeit Zeugniss ablegen, mit der man von der Identität überzeugt war. Nach dem heutigen Standpunkt der Nervenphysiologie ist es aber auch nicht im geringsten wahrscheinlich, dass eine dieser Hypothesen richtig sei.

Einige Autoren halten es für eine Bestätigung der Identitätslehre, dass hin und wieder Hemiopien beobachtet wurden, wo gleiche Netzhauthälften beider Augen gelähmt waren. Weitere Beobachtungen haben es ausser Zweifel gestellt, dass wirklich der Truncus opticus jeder Seite die gleichnamigen Hälften beider Netzhäute innervirt, dass eine einen Truncus leitungsunfähig machende Ursache Hemiopie der gedachten Art häufig genug erzeugt. Allein das beweist nicht das Geringste für die Identität und ihre anatomische Begründung; es beweist nur, dass die in den Sehnerven enthaltenen von beiden Truncis kommenden Fasern in regelmässiger symmetrischer Weise auf der Netzhaut vertheilt sind. Dass diese Symmetrie übrigens noch weiter geht, als jene Fälle von Hemiopie lehren, habe ich aus mehreren pathologischen Beobachtungen von Sehstörungen aus centraler Ursache ersehen können, wo die Gesichtsfelder beider Augen gleichartige Defecte zeigten, die nur einen

Quadranten oder weniger betrafen. Eine gleichmässige und regelmässige Vertheilung der Sehnervenfasern lässt sich ja auch direct mikroskopisch und ophthalmoskopisch beobachten, und da die Fasern der Nervenstämme sich in ihrem Verlauf nicht verflechten, sondern im Allgemeinen die parallele Richtung einhalten, so ist es wohl erklärlich, dass eine auf einen Theil eines Truncus opticus einwirkende Krankheitsursache einen gleichförmigen Ausfall in beiden monocularen Sehfeldern zur Folge haben kann. Wollte man aus der gleichmässigen Ausstrahluug der Sehnervenfasern in den Netzhäuten und der gleichen Lagerung der Faser in den Nervenstämmen Schlüsse auf die Identität machen, so würde zu entgegnen sein, dass ein gleiches Verhalten sich auch bei Thieren findet, bei denen kein gemeinschaftliches Gesichtsfeld, also auch keine Identität existirt.

Was die weiteren anatomischen Eigenschaften der in der Lage correspondirenden Netzhautpunkte anlangt, so findet allerdings eine gewisse Analogie statt. Vor Allem sind die beiden Stellen des directen Sehens, die doch par excellence identische Punkte sein sollen, gleich gebaut. Um sie herum nehmen in centrifugaler Richtung allerseits gewisse Elemente gradweise ab, andre treten mehr hervor, so dass in der That Punkte von gleicher Lage gleiche anatomische Beschaffenheit haben. Allein es wäre gänzlich verfehlt, dies zur Begründung der Identität zu benutzen. Zunächst besässe in identischen Parallelkreisen, da in allen Punkten der Bau derselbe ist, kein Punkt vor dem andern das Privilegium der Identität. Die Gleichheit anatomischer Constitution spricht sich aber functionell nur in der Schärfe der Perception aus; diese ist an übereinstimmenden Punkten beider Retinä gleich, doch die Schärfe des Eindrucks steht zu der Einfachheit desselben in keiner Beziehung. Die Netzhautcentra werden nicht deshalb dem fixirten Punkt gegenüber gestellt, weil sie identisch sind und eine einfache Empfindung vermitteln müssen, sondern weil sie die grösste Sehschärfe besitzen. Betrachten wir einen Punkt mit dem rechten Auge allein, so stellen wir die rechte Sehaxe auf ihn ein, ebenso die linke, wenn wir das linke Auge allein benutzen. Bei gemeinschaftlicher Thätigkeit beider Augen werden die empfindlichsten Stellen aus Gründen der Deutlichkeit dem Punkte zugewendet, auf den die Aufmerksamkeit gerichtet ist; man braucht gar keine weitere Nöthigung in der Identität dieser Punkte zu suchen. Die unrichtige Auffassung dieses überaus einfachen Verhältnisses hat offenbar viel zu der Verwirrung in der Identitätssache beigetragen. Wenn man nun gar behauptet, bei gemeinschaftlichem Sehact werden behufs des Einfachsehens den Punkten des Gesichtsobjects identische Netzhautstellen gegenüber gestellt, so verlangt man von dem Muskelapparat Unmögliches, wie unten näher angeführt werden wird. Es ist kein einziger stichhaltiger Grund vorhanden, dass die Einstellung

der Augen ausser unter dem Einfluss des Scharfsehens noch unter dem Einfluss des Einfachsehens stehe.

Bei dem Mangel anatomischer Beweise für die Präexistenz der Identitätspunkte klammerte man sich um so fester an den einzigen physiologischen Beweis, den man in dem Joh. Müller'schen Versuch über die sogenannte subjective Identität der Netzhäute zu besitzen glaubte.

Wenn man im Dunkeln eine möglichst weit nach hinten gelegene Stelle des geschlossenen Auges mit dem Finger drückt, so nimmt man an der entgegengesetzten Seite des dunkeln Sehfeldes einen feurigen Kreis wahr. Drückt man beide Augen gleichzeitig, so sieht man zwei Feuerkreise, die jedoch zusammenfallen, wenn man gewisse correspondirende Stellen drückt. Die correspondirenden Regionen sind nach diesem Versuch die oberen mit den oberen, die unteren mit den unteren, die äusseren des einen Auges mit den inneren des andern. Durch Benutzung eines kleinen Körpers, etwa eines Nadelknopfes, zur Erzeugung der Druckfigur, kann man die Genauigkeit des Versuchs um etwas erhöhen.

Die Richtigkeit des Versuchs ist unbestritten; die Folgerungen jedoch, welche man darauf gebaut hat, scheinen mir viel weiter zu gehen, als sich rechtfertigen lässt. Wenn man nämlich sagt: Weil die Wahrnehmung einfach ist, so sind die gereizten Stellen identisch; so liegt dem, glaube ich, eine unklare Vorstellung zu Grunde. Fragen wir: Wie wird die Richtung bestimmt, in welcher wir die Reizursache ins Sehfeld hinausprojiciren? so lautet die Antwort nach dem was im vorigen Abschnitt gesagt ist: Wir versetzen die Quelle der Reizung in die Richtung hinaus, die bestimmt wird durch die Lage der gereizten Stelle und den Kreuzungspunkt der Visirlinien. Von der Lage des Auges, somit auch der gereizten Netzhautstelle sind wir durch das Muskelgefühl unterrichtet. Wenn wir nach dieser Regel die Projection der durch den Fingerdruck erzeugten Reizung feststellen, so stimmt das ganz mit dem Resultat des Versuchs überein. Drücken wir das rechte Auge aussen, so wird das Phosphen links gesehen, drücken wir das linke Auge innen, so wird das Phosphen ebenfalls links gesehen. Beide Phosphene decken sich bei gleichzeitigem Druck dieser Stellen aber nicht, weil die gedrückten Stellen identisch sind, sondern weil das Gesetz der Projection es so erfordert. Diese Erklärung scheint nun der Erscheinung vollkommen zu genügen. Dass sie aber die allein richtige ist, lehrt ein weiterer Versuch. Nachdem man sich die Stelle des Sehfeldes gemerkt hat, wo bei gewöhnlicher paralleler Augenrichtung beim Druck an bestimmter Stelle des Orbitalrandes eine Lichterscheinung sich befand, richte man die Augen stark convergent, und übe nun den Druck in gleicher Weise wie früher zunächst dem Orbitalrande aus. Wiederum werden sich die Phosphene an ungefähr derselben Stelle des Sehfeldes decken; wiewohl ganz andere Regionen der Netzhaut gereizt werden.

Man richte die Augen ferner seitlich und drücke wieder ganz nahe am Orbitalrande. Auch jetzt nimmt der einfache Feuerkreis die nämliche Stelle im Sehfelde ein. Es ist klar, dass bei Convergenz der Sehaxen sowohl als bei associirter Seitenbewegung der Bulbi nicht mehr identische Punkte der Netzhaut an der Stelle des Orbitalrandes, wo der drückende Finger sich befindet, zu liegen kommen; und dennoch tritt in der Projection der Druckfigur keine merkbare Aenderung ein. Also auch wenn nicht identische Stellen gereizt werden, kann dennoch die Reaction eine einfache sein, falls nämlich die gereizten Stellen zum Sehfelde die gleiche Lage haben. Es haftet demnach das einfache, durch Deckung zweier entstandene Phosphen nicht an gewissen ein für alle Mal gleichen Punkten der Netzhaut, sondern an gewissen Stellen des Reizes, gleichgültig, welche Punke der Netzhäute sich gerade an dieser Stelle befinden. Die Stellen des Reizes müssen identisch sein, nicht die Punkte der Netzhäute.

Man könnte auch in umgekehrter Weise den Müller'schen Versuch benutzen, nämlich Punkte der Netzhäute, welche identisch sein sollen, bei verschiedenen Augenrichtungen gleichzeitig reizen, um zu zeigen, dass dann zwei Eindrucke auftreten können. Doch verfolge ich dies nicht weiter, da diese Versuche wenig genau, und, wenigstens für mich, schwierig auszuführen sind. Es kam mir nur darauf an, zu zeigen, dass der Versuch keinen Beweis für die Präexistenz der Identität enthält, dass der Versuch nicht bloss ohne Identität zu erklären ist, sondern dieser sogar widerspricht, dass endlich der Begriff einer subjectiven Identität der Netzhäute der Kritik nicht Stand hält. Ich füge nur noch hinzu, dass das Verhalten der Phosphene bei Schielenden, dessen ich anderwärts gedacht habe, auch gänzlich gegen die Identität spricht.

Weitere Beweise, welche für die Identitätslehre angeführt wären, sind mir nicht bekannt, ich komme daher zu den Gründen gegen dieselbe.

Was den ersten und Hauptsatz anlangt: Gegenstände, deren Bilder auf identische Netzhautstellen fallen, werden einfach gesehen, so ist die darin ausgesprochene Bedingung so gut wie unerfüllbar. Ich habe im ersten Abschnitte auseinandergesetzt, dass es in endlicher Entfernung keinerlei körperliche Gegenstände giebt, deren Bilder unter irgendwelchen Umständen identische Netzhautstellen treffen könnten, ja nicht einmal ebene Figuren. Die einzige Ausnahme, die dort statuirt wurde, Figuren in der Medianebene, welche symmetrische Bilder liefern, kommt praktisch offenbar gar nicht in Betracht. Für den dem zu Grunde liegenden,

bereits mehrfach erwähnten Satz, dass die Visirlinien identischer Netzhautpunkte bei beliebiger Fixation im Allgemeinen im Raume nicht zur Schneidung gelangen, bin ich bisher den strengen Beweis schuldig geblieben. Ich hole denselben jetzt nach.

Beide Augen mögen sich in einer solchen Stellung befinden, wo die verticalen Trennungslinien identischer Netzhauthälften wirklich vertical, die horizontalen wirklich horizontal sind, also in einer sog. Primärstellung. Der Einfachheit wegen soll angenommen werden, dies sei der Fall, wenn ein in der Medianebene und in der horizontalen Visirebene befindlicher (unter dem Convergenzwinkel φ gesehener) Punkt fixirt wird. Die Netzhäute werden als Kugeln vorgestellt, deren Mittelpunkte die Kreuzungspunkte der Visirlinien sind. Man denke sich in jedem Auge eine verticale Ebene durch die Netzhaut gelegt, welche von der Ebene des durch die Stelle des directen Sehens gelegten Meridians in beiden Augen nach gleicher Richtung (etwa nach links) um den Winkel α abweicht. Die grossen Kreise (I.), in welchen die Netzhäute von diesen Ebenen geschnitten werden, würden als identische Meridiane zu bezeichnen sein, und identische Punkte sind in diesen Meridianen der Definition zufolge diejenigen, welche von den horizontalen Trennungslinien um gleiche Bogen abstehen. Die horizontalen Trennungslinien sind nichts anderes als die grössten Kreise, in denen die Netzhäute von der horizontalen Visirebene geschnitten werden (II.). Es werde nun auf dem verticalen Meridiane (I.) der einen Netzhaut ein Punkt P angenommen, dessen Bogenabstand von der horizontalen Trennungslinie $= \beta$ sei. Wenn α die Länge des Punktes ist, so ist β die Breite desselben. Identisch mit dem Punkte P ist im zweiten Auge nach der Definition der Punkt Q, dessen Länge gleichfalls $= \alpha$, und dessen Breite $= \beta$ ist. Wenn die Visirlinien der Punkte P und Q sich irgendwo schneiden sollen, so müssen sie in einer Ebene liegen und zwar in einer Ebene, welche die beiden Kreuzungspunkte der Visirlinien enthält. Legen wir daher durch letztere, die zugleich als Mittelpunkte der sphärisch gedachten Netzhäute angenommen sind, und durch den Punkt P eine Ebene, so müsste der Punkt Q, wenn seine Visirlinie die Visirlinie von P je schneiden soll, nothwendig dieser Ebene angehören. Es fragt sich also, ob der Punkt, in welchem die gedachte Ebene den identischen Meridian (von der Länge α) des zweiten Auges schneidet, der oben angenommene identische Punkt, d. h. ob seine Breite $= \beta$ ist. Die letzterwähnte Ebene schneidet beide Netzhäute in grössten Kreisen, welche früheren Bezeichnungen analog auch hier Grundlinienmeridiane genannt werden mögen (III.). Der Punkt nun im zweiten Auge, in welchem der Grundlinienmeridian (III.) den identischen Meridian (I.) schneidet, möge vorläufig als Q_1 und seine Breite als β_1 bezeichnet werden; die weitere Beobachtung soll nun lehren, ob $\beta_1 = \beta$ ist, und ob Q_1 mit Q zusammenfällt.

Durch die drei grössten Kreise I., II. und III. wird in jedem Auge ein rechtwinkliges sphärisches Dreieck gebildet. Der Winkel nämlich, welchen I. und II. bilden, ist ein rechter. Die eine Cathete, welche der horizontalen Visirebene angehört (II.), ist in dem einen Auge $= 90^0 - \alpha - \frac{1}{2}\varphi$, im zweiten Auge $= 90^0 - \alpha + \frac{1}{2}\varphi$. Die anliegenden spitzen Winkel sind in beiden Dreiecken gleich und sollen ϱ genannt werden. Die diesen Winkeln gegenüberliegenden Catheten endlich sind in dem einen Dreieck $= \beta$, in dem zweiten $= \beta_,$.

Es ergeben sich folgende Relationen: In dem rechtwinkligen sphärischen Dreieck des ersten Auges

$$\begin{aligned}\text{tang. } \beta &= \text{tang. } \varrho. \ \sin(90^0 - \alpha + \tfrac{1}{2}\varphi) \\ &= \text{tang. } \varrho. \ \cos(\mathrm{a} - \tfrac{1}{2}\varphi).\end{aligned}$$

In dem sphärischen Dreieck des zweiten Auges

$$\begin{aligned}\text{tang. } \beta_, &= \text{tang. } \varrho. \ \sin(90^0 - \alpha - \tfrac{1}{2}\varphi) \\ &= \text{tang. } \varrho. \ \cos(\alpha + \tfrac{1}{2}\varphi).\end{aligned}$$

Durch Division der Gleichungen wird tang. ϱ eliminirt

$$\frac{\text{tang. } \beta}{\text{tang. } \beta_,} = \frac{\cos(\alpha - \frac{1}{2}\varphi)}{\cos(\alpha + \frac{1}{2}\varphi)}.$$

Also

$$\text{tang. } \beta = \text{tang. } \beta_, \ \frac{\cos(\alpha - \frac{1}{2}\varphi)}{\cos(\alpha + \frac{1}{2}\varphi)}.$$

Hiernach ist β nur dann $= \beta_,$ a) wenn beide $= 0$ sind, b) wenn der Factor $\frac{\cos(\alpha - \frac{1}{2}\varphi)}{\cos(\alpha + \frac{1}{2}\varphi)} = 1$ ist. Letzteres findet statt: 1) wenn $\alpha = 0$ ist. Da $\cos(-\frac{1}{2}\varphi) = +\cos\frac{1}{2}\varphi$ ist, so wird $\frac{\cos(-\frac{1}{2}\varphi)}{\cos\frac{1}{2}\varphi} = 1$, 2) wenn $\alpha - \frac{1}{2}\varphi = \alpha + \frac{1}{2}\varphi$, d. h. wenn $\varphi = 0$ ist.

Die Bedingung $\beta = \beta_, = 0$ bedeutet: Die Breite der identischen Punkte ist $= 0$ oder sie liegen in den horizontalen Trennungslinien. Die Bedingung $\alpha = 0$ bedeutet: Die Länge der identischen Punkte ist $= 0$ oder sie liegen in den verticalen Meridianen, welche dem Nullpunkt unserer (symmetrischen) Ausgangsstellung entsprechen; mit andern Worten: welche in Bezug auf die Meridianebene eine symmetrische Lage haben. Diese Meridiane fallen mit den verticalen Trennungslinien zusammen, sobald die Augenstellung eine symmetrische ist (ein in der Meridianebene liegender Punkt fixirt wird). Endlich die Bedingung $\varphi = 0$ bedeutet: Die Sehaxen sind parallel gerichtet, der Fixirpunkt in unendlicher Ferne. Dann schneiden sich die Visirlinien sämmtlicher Identitätspunkte in unendlicher Ferne, d. h. sie sind parallel. Eine reelle Schneidung der Visirlinien in endlicher Entfernung erfolgt also nur in den beiden ersten Fällen, wenn $\alpha = 0$ oder $\beta = 0$, eine ideelle Schneidung in unendlicher Ferne wenn $\varphi = 0$; in jedem andern Falle liegen die

Visirlinien identischer Netzhautpunkte in verschiedenen Ebenen und schneiden sich niemals.

Es wird vielleicht Manchem nicht unlieb sein, diesen Beweis des wichtigen Satzes in die anschaulichere geometrische Form gebracht zu sehen, daher ich eine solche Umformung hier folgen lasse.

Wiederum sollen die Augen sich in derjenigen Stellung befinden, wo die verticalen und horizontalen Trennungslinien identischer Netzhautquadranten ihre primäre Lage einnehmen; ein in der Meridianebene liegender Punkt werde fixirt. Denken wir uns beide kugelförmige Netzhäute mit einem System von Parallelkreisen und Meridianen versehen, dessen Axe die verticale Kugelaxe ist. Die Parallelkreise werden vom oberen Ende dieser Axe gezählt; die Meridiane von demjenigen Meridian, der mit der verticalen Trennungslinie zusammenfällt. In beiden Augen wird nach gleicher Richtung gezählt. Die Punkte, welche unter gleichen Parallelkreisen und gleichen Meridianen liegen, werden dann als Identitätspunkte gelten. Es ist die Frage zu beantworten: Werden die zu zwei identischen Punkten gehörigen Projectionslinien irgendwo zur Schneidung gelangen? oder mit andern Worten: Liegen dieselben in einer Ebene, welche zugleich die Kreuzungspunkte der Projectionslinien (die wir mit den Netzhautcentren identificirt haben) enthält?

Für gewisse Punkte ist die Antwort zu bejahen, nämlich: 1) für die in den verticalen Trennungslinien liegenden Punkte. Der geometrische Ort für die Schnittpunkte der Projectionslinien je zweier solcher identischen Punkte ist nämlich die Schnittlinie der durch die beiden genannten Kreise gelegten Ebenen. Diese Linie ist eine durch den Fixirpunkt gehende senkrechte Gerade, die sog. verticale Horopterlinie von Alex. Prévost.

2) Für die in den horizontalen Trennungslinien enthaltenen identischen Punkte. Deren Projectionslinien schneiden sich nämlich in einem Punkte des sog. Müller'schen Horopterkreises (siehe den Beweis pag. 8). Es bleiben daher noch die ausserhalb der Trennungslinien liegenden identischen Punkte zu berücksichtigen. Wir wählen ein beliebiges Paar identischer Punkte, und legen durch einen von beiden, P im Auge I. und beide Netzhautmittelpunkte eine Ebene. Dieselbe schneidet jede Netzhaut in einem grössten Kreise, einem Grundlinienmeridiane. In dem Grundlinienmeridiane des Auges II. muss der identische Punkt Q liegen, falls seine Visirlinie die Visirlinie von P irgendwo treffen soll. Der identische Punkt Q soll aber auch in gleichen Parallelkreisen wie P liegen. Dieser identische Parallelkreis im Auge II. wird von dem erwähnten Grundlinienmeridian in zwei Punkten geschnitten. Ist einer von beiden Punkten der identische Punkt Q? liegt einer von beiden in dem zu P identischen Meridian? Offenbar nicht. Es ist leicht einzusehen, welches diese beiden Punkte, sind nämlich nach bekannten geometrischen Sätzen a) der Punkt, dessen Projectionslinie der Projectionslinie

von P parallel ist, und b) der Punkt, welcher in Bezug auf die Meridianebene symmetrisch zu P liegt.

Es lässt sich hieraus zugleich erkennen, in welchen speciellen Fällen ausser den oben namhaft gemachten eine Schneidung correspondenter Projectionslinien erfolgt. Wenn nämlich der Fall unter a), wo die Projectionslinien aller identischen Punkten parallel sind, sich also nicht in Wirklichkeit, sondern in unendlicher Ferne schneiden, abgerechnet wird, so bleibt bloss der Fall b) übrig, d. h. eine Schneidung der Projectionslinien erfolgt nur für identische Punkte, welche in symmetrischen Meridianen liegen. Für jede Augenstellung giebt es natürlich nur ein Paar symmetrischer identischer Meridiane und im Falle der Fixation eines in der Medianebene gelegenen Punktes sind diese Meridiane die verticalen Trennungslinien.

Das Ergebniss ist bei beiden Beweismethoden genau das nämliche. Eine unmittelbare Folgerung aus demselben, welche beiläufig gesagt, die Unmöglichkeit einer Horopterfläche involvirt, lässt sich kurz so ausdrücken: Bei der supponirten Primärlage der Identitätspunkte kann sich im Allgemeinen kein Punkt auf identische Netzhautstellen abbilden. Ausgenommen sind nur Punkte, welche in zwei Linien liegen, dem in der Medianebene gelegenen sog. verticalen Horopter und dem in der Visirebene gelegenen kreisförmigen Horopter. Auch auf andere Stellungen der Identitätspunkte, wenn durch wirkliche oder scheinbare Axendrehung die Trennungslinien ihre primäre Lage verlassen haben, lässt sich obiges Resultat leicht erweitern; doch halte ich es nicht für nothwendig, dies hier weiter auszuführen. Man sieht leicht, dass dann auch der kreisförmige Horopter aufhört und nur unter gewissen Umständen gerade Horopterlinien übrig bleiben.

Die für so werthvoll gehaltene Eigenschaft der Identität könnte somit dem streng mathematischen Beweise zufolge selbst unter den günstigsten Bedingungen nur in Bezug auf zwei grösste Kreise der Netzhaut zur Wirksamkeit kommen. Wozu wäre sie also da? Es scheint absurd, dass eine complicirte Einrichtung in der ganzen Netzhaut getroffen sein sollte, welche nur zwei Linien derselben und auch diesen nur unter beschränkten Umständen zu Gute kommen, im Uebrigen aber niemals in Wirksamkeit treten kann.

Wäre die Identitätstheorie nicht so fest bei uns eingebürgert, nicht so innig mit der Physiologie des Gesichtssinnes verwachsen, so könnte der vorstehende Beweis allein hinreichend erscheinen, sie zu verwerfen, und es bedürfte weiterer Discussion nicht. Da jedoch einer rein theoretischen Deduction Thatsachen und Experimenten gegenüber nicht viel

Gewicht beigelegt werden wird, so recapitulire ich hier noch kurz die wichtigsten Thatsachen, welche gegen die Identität anzuführen sind.

Die factischen Widersprüche beziehen sich meist auf den zweiten Theil des Identitätstheoremes, da der in dem ersten Theil — dass Gegenstände, deren Bilder auf correspondirende Netzhautstellen fallen, einfach gesehen werden — enthaltenen Bedingung nach der vorhergegangenen Erörterung nur in sehr beschränkten Fällen Genüge geleistet werden kann. Dennoch giebt es Versuche, welche auf das Klarste auch gegen die Aussage des ersten Theils sprechen und verweise ich hier insbesondere auf den pag. 81 gegebenen stereoskopischen Versuch, welcher um so beweiskräftiger ist, als er die physiologischen Mittelpunkte der Netzhäute betrifft, die doch vor allen andern für identisch gehalten werden. Es ist klar und zweifellos, dass in jenem Versuche Punkte, welche fixirt werden, deren Bilder auf die Stellen des directen Sehens fallen, an verschiedenen Stellen des Raumes, d. h. doppelt gesehen werden. Einer so schlagenden Thatsache gegenüber bedarf es keiner weiteren Beispiele, die sich sonst leicht herstellen liessen.

Gegen die zweite Thesis, dass Punkte, deren Bilder auf differente Netzhautpunkte treffen, doppelt erscheinen, ist fast jeder der oben beschriebenen stereoskopischen Versuche anzuführen; denn fast jeder zeigt, dass die gewissen Regeln folgende Verschiedenheit der Netzhautbilder, nicht Doppeltsehen, zur Folge hat, sondern die Wahrnehmung der Tiefe und Körperlichkeit. Die verschiedenen Hypothesen, welche diesen Thatsachen gegenüber zur Rettung der Identität dienen sollen, Brücke's Hypothese, dass ein unendlich schneller Wechsel der Fixation und Convergenz Ursache der Verschmelzung der Bilder zu einem Bilde mit Tiefendimensionen sei, Panum's Theorie der Identitätskreise, Volkmann's Versuch, die Einfachheit des Gesichtseindrucks durch eine auf Gewohnheit und Uebung gegründete Seelenthätigkeit zu erklären, wobei freilich die Tiefenwahrnehmung zu kurz kommt — diese Hypothesen sind, wie oben nachzuweisen versucht wurde, als mit den Thatsachen nicht verträglich aufzugeben, und ich glaube nicht, dass weitere Versuche zur Erhaltung der Identität glücklicher sein werden.

Ein weiteres gegen die Identität sprechendes Moment glaube ich daran zu finden, dass in keinem Falle jemals die ganzen Netzhäute für identisch gehalten werden können, sondern höchstens mehr oder weniger grosse Theile derselben. Weniger Gewicht will ich darauf legen, dass auf jeder Netzhaut zwei nicht sehr excentrisch gelegene kreisförmige Stellen als identischer Stellen entbehrend in Abrechnung kommen, nämlich in jedem Auge der Mariotte'sche Fleck und die dem Mariotte'schen Fleck des andern Auges correspondirende Stelle. Doch von grösserer Bedeutung ist es, dass der anatomischen Lagerung zufolge jedes Auge ein eignes, ihm allein gehöriges Sehfeld besitzt; eine Netz-

hautparthie also, zu der es im andern Auge keinen im Verhältniss der Identität stehenden Netzhauttheil giebt. Die Grösse dieser immer isolirt functionirenden seitlichen Netzhauttheile unterliegt individuellen Verschiedenheiten, da sie von der Augenstellung abhängt, ja es kann selbst bei demselben Individuum eine Aenderung eintreten, indem eine acquisite Myopie höheren Grades sich oft mit bleibender stark convergenter Augenstellung vergesellschaftet. Vollends merkwürdig muss sich das Verhältniss bei dauernder pathologischer Augenstellung, wie bei concomitirendem Schielen, gestalten. Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass, obgleich hier die Objecte Netzhautstellen gegenüber stehen, die weit davon entfernt sind, identisch zu sein, es doch unbezweifelbare Fälle giebt, wo beide Eindrücke gleichzeitig benutzt werden, ohne dass Doppeltsehen entstünde. Insbesondere ist es anerkannt, dass das particulare Sehfeld des schielenden Auges sehr häufig in vollem Maasse zum Sehen benutzt wird, während es doch evident ist, dass der Netzhauttheil des gesunden Auges, welcher mit dem das particulare Sehfeld des schielenden Auges versorgenden Netzhauttheile correspondente Lage hat, also identisch ist, ganz andre Wahrnehmungen vermittelt, als der letztere (cf. pag. 131).

Die Bedeutung der auf das besondere eigenthümliche Gesichtsfeld jedes Auges gestützten Einwendung wird vermehrt, wenn man die Betrachtung auf die Augen der Thiere ausdehnt. Man kann eine Scala von Thierspecies aufstellen nach der Grösse des Winkels, den beide Augenaxen mit einander bilden und vom Affen, bei dem das gemeinsame Gesichtsfeld beider Augen sich wenig von dem des Menschen unterscheidet, bis herab zu den Thieren mit immer stärker divergent stehenden Augen nimmt die Grösse des gemeinsamen Sehfeldes gradweise ab, bis endlich ein solches bei den Thieren mit ganz seitlicher Augenstellung gar nicht mehr existirt. Bei dieser Stufenfolge würden die Netzhautparthien, welche der Analogie zufolge als identisch zu betrachten wären, immer kleiner werden, endlich ganz fehlen. Darf man unter solchen Umständen wohl für wahrscheinlich halten, dass eine besondere anatomische Einrichtung für die das gemeinschaftliche Sehfeld versehenden, übrigens mit jeder Augenstellung wechselnden Netzhauttheile bestehe? für die meist viel grösseren Reste dagegen fehle? Die Nothwendigkeit davon scheint mir ebenso wenig einzuleuchten, wie die Zweckmässigkeit. Bisher ist wenigstens nicht das Geringste aufgefunden, was für eine solche Meinung sprechen könnte.

Siebentes Capitel.

Die Horopterlehre.

Dass mit dem Fallen der Identitätslehre und dem richtigeren Verständniss der Erscheinungen des Einfach- und Doppeltsehens auch die Horopterlehre eine völlige Umgestaltung erleiden muss, liegt auf der Hand. Ohne eine ins Einzelne gehende historisch-kritische Erörterung dieses gegenwärtig das Bild grosser Verwirrung bietenden Theils der Physiologie des Gesichtssinnes geben zu wollen, werde ich mich mit einem Streifblick begnügen und im Anschluss an das Frühere nur in wenigen Zügen die Veränderungen darzulegen suchen, welche in diesem Gebiete vorzunehmen sind. Die grosse Verschiedenheit der nach allen Richtungen divergirenden Ansichten über den Horopter schreibt sich vor Allem von der Verschiedenheit der Methoden her, nach denen man die Frage zu lösen suchte. Bald wollte man den Horopter rein theoretisch bestimmen, bald ihn auf dem Wege des Experiments ermitteln; eine Verbindung beider Wege ist bis vor Kurzem nicht einmal versucht worden.

Der Ausdruck Horopter wurde bekanntlich von Aguilonius eingeführt, der damit eine der Angesichtsfläche parallele Linie resp. Fläche, welche nach seiner Meinung bei der durch den Fixationspunkt bestimmten Augenstellung die scheinbaren Orte aller gesehenen Gegenstände enthielt. Denkt man sich durch den Punkt, der gerade fixirt wird, mit der Angesichtsfläche parallel eine ebene Glastafel aufgestellt und auf dieser die Gegenstände des Sehfeldes so aufgezeichnet, wie sie sich für jedes einzelne Auge darstellen, so erhält man zwei Zeichnungen, die sich nicht decken. Alle Objecte vor und hinter der Tafel sind doppelt gezeichnet, erstere in gekreuzten, letztere in gleichseitigen Bildern; nur Punkte in der Ebene der Tafel selbst werden in beiden Zeichnungen denselben Platz einnehmen; also einfach erscheinen. Eine solche Ebene war des Aguilonius Horopterfläche. Ganz dasselbe wird auch für jede andere, kuglig, cylindrisch oder sonstwie gekrümmte Fläche gelten. Auch dann erscheinen nur die in der Fläche selbst gelegenen Punkte einfach.

Mit Unrecht behauptet Meissner, Aguilonius habe das neue Wort nicht für die Lehre von Einfach- und Doppeltsehen geschaffen, sondern allgemeine Principien der Raumanschauung durch den Gesichtssinn hätten ihn zu seiner Aufstellung geführt. Der gelehrte Pater lässt sich jedoch ausdrücklich darüber aus, was ihn zur Einführung des neuen Begriffs bewogen habe. Die Erscheinungen des Doppeltsehens glaubte er nur durch die Annahme erklären zu können, dass alle Gegenstände

n der durch den Fixirpunkt gelegten Ebene gesehen würden, die er deshalb Gesichtsgrenze (terminus, metavisus) nannte. Seine Behauptung bezeichnet er als eine Hypothese, die ihm durch die ihm bekannten Thatsachen gerechtfertigt zu werden scheine*). Er beruft sich besonders auf ein bekanntes Experiment, wo zwei in der Richtung der Sehaxen gehaltene Objecte ein dreifaches Bild liefern. Daraus, dass alle drei Bilder in einer der Angesichtsfläche parallellen Ebene zu liegen scheinen, schliesst er auf die geradlinigte, resp. ebene Beschaffenheit seines Horopters**).

Durch Hinzutritt der Theorie von der Identität wurde der Standpunkt verschoben und der Ausdruck Horopter musste sich namentlich dann ändern, als man keine Horopterfläche anerkennen wollte. Diejenigen, welche glaubten, dass zum Einfachsehen mit zwei Augen die Erregung identischer Netzhautstellen gehöre, konnten folgerichtig keinen geradlinigten Horopter zulassen. Wie Pierre Prévost***), Vieth†) und J. Müller††) nachwiesen, musste ein durch den fixirten Punkt und beide Augencentren gehender Kreis die Schnittpunkte der Sehlinien identischer Punkte enthalten. Auf diesen Kreis übertrug man, den Wortsinn vernachlässigend, die Benennung Horopter und für ihn trat die Bedeutung als Complex derjenigen Punkte, welche bei einem Blick einfach gesehen werden, in den Vordergrund. Ob der neue Horopter zugleich die scheinbaren Orte der Doppelbilder enthält, was der Definition zufolge nothwendig scheint, diese Frage liess man theils ziemlich unberücksichtigt, theils nahm man inconsequenter Weise noch eine, der Aguilonius'schen Horopterebene horizontale ähnliche Fläche für die Localisation der Doppelbilder an, deren Durchschnitt der Horopterkreis sein sollte. Ueber die Gestalt der gekrümmten Horopterfläche gab es

---

*) l. c. lib. II. pag. 148: Primo quidem efficax hujus rei argumentum est, quod nisi statuamus omnia in horoptere videri, nulla idonea causa reddi possit, ob quam certa oculorum dispositione res quaedam geminae conspiciantur..... Quapropter uti in astronomicis rebus phaenomena hypothesibus explicantur, illaeque hypotheses praecipue ab omnibus commendantur, quae ad salvandas phaenomenon rationes potissimum valent: ita in confesso esse oportet hanc horopteris proprietatem, qua ad explicandas fallacias loci, geminosque aspectus, nil videtur excogitari posse accommodatius. Si quidem cum rei cujuspiam phantasia geminatur, tum ea duobus spectatur locis;.... at horopter neuter proprius esse potest.... Nusquam vero commodius ac etiam verius apparens rei locus statui potest, quam in horoptere, citra vel ultra quem nihil reperire est quod radium opticum ab ocula per rem extensum definiat.

**) Cum enim duae res in axibus opticis constitutae tribus numerantur locis tum tres apparentes phantasiae in rectam lineam, illi quae centra visuum connectit parallellam, dispositae conspiciuntur. At mediam constat in horopterem transfundi, eo scilicet loci ubi inter se axes committuntur. Igitur et reliquae in eodem horoptere apparentem locum habent: is quippe per axium concursum mediamque phantasiam incedit.

***) Essai de Philosophie ou étude l'esprit humain. Genève an XIII. I. p. 173.

†) l. c.

††) Vergleichende Physiologie des Gesichtssinnes.

verschiedene Varianten. Indem man übersah, dass die Projectionslinien identischer Netzhautpunkte sich im Allgemeinen gar nicht schneiden können, dass also eine Horopterfläche für die Identitätslehre gar nicht existiren kann, gab man der gesuchten Fläche ohne genauere mathematische Untersuchung eine ziemlich willkürliche Gestalt. J. Müller stellte einen cylinderförmigen Horopter auf, Volkmann und Ludwig einen kugelförmigen, Tourtual ein Mittelding zwischen beiden. In neuerer Zeit erhoben sich mit Recht Bedenken gegen diese Horopterflächen, und man wollte den Horopter nur noch als Linien gelten lassen, den horizontalen sog. Müller'schen Horopterkreis und eine durch den Fixirpunkt gehende verticale Horopterlinie, auf welche letztere zuerst Alexandre Prévost*) aufmerksam gemacht zu haben scheint. Diese Ansicht wurde ausser von dem letzterwähnten Autor von Burkhardt**), Claparède***) und v. Recklingshausen†) vertheidigt.

Der Letztere kommt bereits zu dem gewiss richtigen Schlusse, dass „der Horopter als Inbegriff sämmtlicher einfach wahrgenommener Punkte des Raumes unwesentlich sei". Für die Localisation der Doppelbilder führt er nun eine ganz neue Fläche ein, welche er Normalfläche nennt. Die hierbei vorgekommenen Unrichtigkeiten haben oben bereits Berücksichtigung gefunden.

Einen neuen und eigenthümlichen Weg zur Ermittelung des Horopters schlug Meissner ein, indem er sich auf den Boden des Experiments stellte und aus der Beschaffenheit der Doppelbilder Schlüsse auf den Horopter machte. Die Methode würde volle Billigung finden müssen, wenn vorher an dem Begriffe des Horopters die nöthige Kritik geübt worden wäre. Bevor man es unternehmen durfte, die Neigung der supponirten identischen Meridiane experimentell festzustellen und zur Horopterlehre zu verwerthen, musste für die primäre Ausgangsstellung die Möglichkeit des Horopters einer theoretischen Analyse unterworfen werden. Eine solche würde weitere Irrthümer verhütet und auf die Unzulässigkeit der gemachten Voraussetzungen hingewiesen haben. Der Mangel dieser Kritik, das Durcheinanderwerfen des Horopters als des geometrischen Ortes für die Schnittpunkte der Visirlinien sog. identischer Netzhautpunkte und des Horopters als des Ortes der Doppelbilder führte zu den mit vielfachen Widersprüchen erfüllten Resultaten. Die letzteren (an denen übrigens Meissner, wie seine neueste Arbeit††) lehrt, bis diesen Augenblick festhält) weichen von allen früheren Ergebnissen gänzlich ab. Für verschiedene Augenstellungen soll Lage und Gestalt des Ho-

*) Essai sur la théorie de la vision binoculaire. Genève 1842. Pogg. Ann. 63. p. 548

**) Verhandl. der naturforschenden Gesellschafl in Basel 1854.

***) l. c.

†) l. c. pag. 145.

††) Zeitschr. f. rationelle Medicin. VIII. p. 1. 1860.

ropters wechseln; nur a) bei paralleler Richtung der Sehaxen und beliebiger Neigung der Visirebene und b) bei nur 45° geneigter Visirebene (Primärstellung) und beliebiger Convergenz der Sehaxen sei der Horopter eine Fläche und zwar eine jedesmal auf der Visirebene senkrecht stehende Ebene. Für andere Augenstellungen existirt keine Horopterfläche; eine Horopterlinie nur in den sog. symmetrischen (Sekundär-) Stellungen, wo ein Punkt der Medianebene fixirt wird. Diese sogenannte verticale Horopterlinie, d. h. in der verticalen Medianebene liegend, ist dann eine unter verschiedenen Winkeln gegen die Visirebene geneigte Gerade. Der Neigungswinkel gegen die Visirebene wächst einestheils mit der Convergenz, anderntheils mit der Abweichung der Visirebene von der Primärstellung. — In allen noch übrigen (Tertiär-) Stellungen reducirt sich der Horopter auf einen Punkt, oder vielmehr, es giebt keinen Horopter ausserhalb des Fixirpunktes. Eine sehr merkwürdige Zugabe zu diesen reellen Horopterlinien und -Punkten sind die daneben „gleichsam virtuell vorhandenen" Horopterflächen, zu denen Meissner wahrscheinlich deshalb flüchtete, weil er das Bedürfniss der Localisation der Doppelbilder empfand, wofür ihm seine Theorie keinen rationellen Ausweg gewährte.

Ich will hier nur noch erwähnen, wie Meissner den Zwiespalt seiner Theorie vom geradlinigen horizontalen Horopterdurchschnitt mit der Müller'schen, auf einem unwidersprechlichen geometrischen Verhältniss beruhenden Theorie vom Horopterkreise abzuhelfen sucht. Er schliesst sich nämlich einer von Baum früher ausgesprochenen Idee an, dass die im Foetalleben existirende Protuberantia scleroticalis eine dauernde Krümmungsverschiedenheit der äusseren und inneren Netzhauthälften zurücklasse. Von dieser glaubt er, sie influire auf die Gestalt des Horopters und mache, dass der horizontale Horopterdurchschnitt nicht ein Kreis sei, sondern eine gerade Linie. Abgesehen davon, dass genaue Messungen im normalen Auge dieser Conjectur nicht günstig sind, abgesehen ferner davon, dass die Region der Protuberanz in dem ausgebildeten Auge, nicht wie Meissner voraussetzt, den äusseren Theil des Bulbus einnimmt, sondern den unteren*), da ja im Foetusleben eine Drehung des Auges erfolgt, so würde, selbst wenn ein Krümmungsunterschied in dem angenommenen Sinne stattfände, dies jene Consequenz nicht gestatten; man müsste denn viele neue Hypothesen über die Lage der Identitätspunkte aufstellen. Eine Ungleichheit der Krümmung der Netzhaut würde wegen des verschiedenen Abstandes der Bildfläche von den Medien zwar der optischen Schärfe der Bilder Eintrag thun, aber ein weiterer Einfluss würde noch des Beweises bedürfen. Für den scheinbaren Abstand zweier Objectpunkte und für die Richtung,

*) Man vergleiche die neuesten ophthalmoskopischen Beobachtungen von Liebreich und mir über die persistirende Protuberanz. Archiv f. Ophth. V. 2. und VI. 1.

in der jeder dieser Punkte gesehen wird, kommt ja nicht in erster Linie die absolute Entfernung der beiden Bildpunkte auf der Netzhaut in Betracht, sondern ihr Winkelabstand, den Kreuzungspunkt der Visirlinie als Scheitelpunkt des Netzhautwinkels angenommen. Es ist wohl denkbar, dass die Netzhaut mit der Bulbuswand an einer Stelle eine abnorme Krümmung hat und dadurch der lineare Abstand der Netzhautbilder zu gross oder zu klein ausfällt, ohne dass die normale Projection dadurch gestört wird. Von Wichtigkeit ist diese Ueberlegung auch wegen des häufigen Vorkommens von Krümmungsveränderungen und Ectasieen bei acquisiter Myopie durch Sclerotico-chorioiditis.

Nach den Wandlungen und Schicksalen, welche der Horopter erfahren hat, dürfte es an der Zeit sein, sich vor Allem über den Begriff desselben zu verständigen, und nur einem solchen Begriffe jenen Namen beizulegen, der in den Grenzen der Möglichkeit liegt und eine physiologische Berechtigung hat. Ob der Horopter 1) der Inbegriff der Schnittpunkte der Projectionslinien identischer Netzhautpunkte sei, ob er 2) der Inbegriff der erfahrungsmässig einfach gesehenen Punkte sei, ob er 3) der Ort der Doppelbilder sei, — dies muss zunächst festgestellt werden. Prüfen wir daher diese drei Begriffe und ihre Bedeutung für den Vorgang des Sehens.

Den Horopter als Complex der Schnittpunkte der zu identischen Netzhautstellen gehörenden Projectionslinien habe ich vorangestellt, weil heutzutage allgemein diese Bedeutung als die primäre, wichtigste hingestellt wird. Es versteht sich von selbst, dass ich, der ich die Identität überhaupt nicht anerkenne, auch diesen Begriff des Horopters nicht billigen kann. Indessen, ich glaube nachgewiesen zu haben, und brauche nur mit kurzen Worten daran zu erinnern, dass, selbst wenn die Lehre von der Identität der Netzhäute wahr wäre, der in Rede stehende Begriff des Horopters keine physiologische Berechtigung gewänne. Gesetzt nämlich, gewisse, der Lage nach correspondirende Stellen der Netzhäute besässen die Bevorzugung der physiologischen Identität, so ist doch in aller Strenge gezeigt worden, dass die Projectionslinien aller solcher zusammengehörigen Punkte sich keineswegs im Raum ausserhalb der Augen schneiden, dass es also mit wenigen Ausnahmen keine Punkte im Raume giebt, deren Bilder identische Netzhautstellen treffen könnten. Mit andern Worten: es giebt keine Horopterfläche. Die Ausnahmen, in denen die Schneidung doch erfolgt, beziehen sich auf gewisse Lagen der Netzhäute und, wenn wir von der Einstellung für unendliche Entfernung absehen, auch dann nur auf zwei grösste Kreise der Netzhäute. Es können nämlich nur die Projectionslinien von solchen Punkten sich im Raume treffen, welche in Bezug auf die Medianebene eine symmetrische Lage haben und nur wenn die Lage der Netzhäute derart ist, dass zwei grösste Kreise

lauter symmetrische identische Punkte enthalten, wenn also die identischen Kreise selbst zur Medianebene eine symmetrische Lage haben, wird es wenigstens eine Horopterlinie im obigen Sinne geben. — Dazu kommt dann noch die in der früher abgeleiteten Formel enthaltene Bedingung, dass die horizontalen Trennungslinien in eine Ebene fallen; auch für diese giebt es dann eine Horopterlinie. — In allen übrigen Fällen existirt ein Horopter gar nicht; ausser dem Fixationspunkt, in dem die Sehaxen convergiren, schneidet sich kein Paar zusammengehöriger Projectionslinien.

Ueber die Gestalt und Lage der eventuellen Horopterlinien in den einzelnen Fällen resumire ich die früheren Betrachtungen dahin:

I. Wenn die horizontalen Trennungslinien in einer Ebene liegen, so ist der Horopter a) für die horizontalen Trennungslinien ein durch den Fixirpunkt und beide Kreuzungspunkte der Visirlinien gehender Kreis, b) für die verticalen Trennungslinien oder bei seitlicher Fixation für die symmetrisch liegenden identischen Meridiane ist es ein in der Medianebene auf der Visirebene senkrecht stehende Gerade. Wenn also der fixirte Punkt nicht in der Medianebene liegt, sondern seitlich, so liegt diese zweite Horopterlinie ganz abgesondert von dem Fixirpunkte.

II. Wenn die horizontalen Trennungslinien nicht in einer Ebene, aber zur Medianebene symmetrisch liegen, so liegen zugleich auch die verticalen Trennungslinien symmetrisch. Für beide giebt es denn auch eine gerade Horopterlinie. Diese Horopterlinien liegen beide in der Medianebene und kreuzen sich im Fixationspunkt, welcher in diesem Falle stets in der Medianebene liegen muss.

III. Wenn endlich die horizontalen Trennungslinien weder in einer Ebene liegen, noch eine symmetrische Stellung haben, so giebt es nicht einmal eine Horopterlinie.

Die Beweise für das Gesagte sind in dem Früheren enthalten, ich brauche sie also hier nicht zu wiederholen. Da jedoch vielleicht Manchem, der an der Physiologie des Sehens Interesse nimmt, die nothwendigen stereometrischen Vorstellungen nicht ganz leicht und geläufig sind, so möge es mir erlaubt sein, über einen wichtigen Punkt noch einige Worte hinzuzufügen. Wer sich, unabhängig von der den strengen Beweis enthaltenden Formel (pag. 154), die Unmöglichkeit der Existenz einer Horopterfläche auf eine anschauliche Weise vergegenwärtigen will, kann dies leicht auf folgende Weise bewerkstelligen. Auf einer Kugel, oder wenn man will, auf zweien, zeichne man zwei auf einander senkrecht stehende Meridiansysteme, wie in Fig. 4. Taf. I. Die Axe des einen Systems stelle die Grundlinie dar, die Axe des andern die verticale Augenaxe. Das erstere System nenne ich Grundlinienmeridiane, das andere verticale Meridiane. Den in die Visirebene fallenden Grundlinien-*meridian bezeichne* man als horizontale Trennungslinie, einen beliebigen

verticalen Meridian mache man zur verticalen Trennungslinie; doch müssen, da der Fixirpunkt in der Medianebene liegen soll, auf beiden Kugeln die Stellen des directen Sehens, also auch die verticalen Trennungslinien symmetrisch liegen, d. h. von einer imaginären Medianebene gleichweit abstehen. Identische Meridiane werden nun diejenigen sein, welche von der verticalen Trennungslinie nach gleicher Richtung um gleich viel Grade abstehen. Zwei Ebenen, welche durch beliebige identische Meridiane gelegt werden, müssen sich in einer geraden Linie schneiden, welche auf der Visirebene senkrecht steht und durch einen Punkt des sog. Müller'schen Horopters geht. Man sollte denken, und es ist vielfach geglaubt worden, dass in dieser Schneidungslinie auch die Schnittpunkte der zu identischen Punkten gehörenden Projectionslinien enthalten sein müssten. Allein die Projectionslinien passiren zwar jene Schneidungslinien, jedoch in verschiedenen Punkten. Um sich von der Nothwendigkeit dessen zu überzeugen, markire man auf zwei identischen Meridianen zwei identische Punkte, indem man von der horizontalen Trennungslinie gleiche Stücke mit dem Cirkel abträgt. Man sieht dann leicht, dass die Grundlinienmeridiane, welche auf beiden Kugeln die identischen Punkte treffen, verschiedene Zahlen tragen, um verschiedene Gradbogen von der horizontalen Trennungslinie abstehen, — und sollten beide Projectionslinien sich schneiden, so müssten sie doch nothwendig in gleichen Grundlinienmeridianen, d. h. in einer Ebene liegen. Die Schneidung der betreffenden Projectionslinien ist also nicht möglich. — Sehr einfach ist auch folgende Ueberlegung: Die Projectionslinien der beiden identischen Punkte würden eine in gleichem Abstande befindliche Verticale in gleicher Höhe schneiden. Die erwähnte Schneidungslinie steht aber von beiden Augen ungleich weit ab; und daher wird sie von den Projectionslinien in verschiedener Höhe geschnitten. Nur wenn die Schneidungslinie von beiden Augen gleichweit absteht, d. h. wenn die angenommenen identischen Punkte in der verticalen Trennungslinie selbst liegen, existiren Schnittpunkte beider Projectionslinien und das ist eben der Fall des verticalen Horopters von Alex. Prévost.

Umgekehrt kann man es sich durch den Augenschein leicht versinnlichen, weshalb ein Punkt jeder senkrechten Schnittlinie zweier identischer Meridianebenen sich nicht auf identischen Punkten der Netzhaut abbilden kann.

Die in gleichen Grundlinienmeridianen enthaltenen Punkte sind die einzigen, deren Projectionslinien, da sie mit den Kreuzungspunkten der Projectionslinien in einer Ebene liegen, zur Schneidung gelangen. Aber unter diesen Punkten giebt es, den Fall der parallelen Sehaxenrichtung ausgenommen, keine identischen. Nichts destoweniger haben gerade diese Punkte eine interessante physiologische Bedeutung, auf welche ich zurückkommen werde.

Für den Horopter als Inbegriff derjenigen Punkte, die bei einer bestimmten Augenstellung auf identischen Netzhautpunkten ihr Bild haben, stellt sich also folgendes Resultat heraus. Eine Horopterfläche existirt in keinem Falle; dagegen giebt es für gewisse Augenstellungen zwei Horopterlinien, sofern nämlich die horizontalen Trennungslinien identischer Netzhautquadranten entweder in eine Ebene fallen oder zur Medianebene symmetrisch gelagert sind. In allen sonstigen Fällen ist der Horopter auf den Fixationspunkt beschränkt.

Schon a priori muss man nach diesem Ueberblick auf die Vermuthung kommen, dass diese ganze Horopterlehre nur ein mathematisches Divertissement sei, das für die Physiologie des Gesichtssinnes nicht den geringsten Werth hat. Diese Vermuthung wird um so gegründeter, wenn man in der Identität nicht mehr das anerkennt, als was sie bisher gegolten, dass sie das das ganze Binocularsehen beherrschende Gesetz sei, sondern eine grundlose Hypothese. In der That sind auch irgendwelche physiologisch wichtige Eigenschaften der Horopterlinien niemals aufgefunden worden und der der Theorie zu Liebe unternommene Versuch, Gegenstände in der Horopterlinie noch einfacher als sonst zu sehen, ist als vollkommen gescheitert anzusehen. Von ganz anderem Standpunkte möchte eine Gattung von Linien, welche mit dem Müller'schen Horopter wenigstens eine äussere Verwandschaft haben, eine Beachtung verdienen, die bei Gelegenheit der stereoskopischen Versuche ihr wenigstens beiläufig zu Theil geworden ist.

Nachdem der Gedanke, den Horopter als Inbegriff der Schnittpunkte der von identischen Netzhautpunkten aus gezogenen Projectionslinien zu betrachten, als ein unfruchtbarer erwiesen ist, fragt es sich, ob dem Horopter als Inbegriff der bei einer bestimmten Augenstellung erfahrungsmässig einfach gesehenen Punkte eine Bedeutung oder überhaupt eine Existenz beigelegt werden kann. Auch dies muss ich bestreiten. Der einzige systematische Versuch, nach diesem Begriffe den Horopter zu bestimmen, ist von Meissner ausgegangen. Es ist gezeigt worden, wie seine auf das Experiment gegründeten Resultate mit den obigen theoretischen Betrachtungen in unlösbarem Widerspruche stehen, wie seine Deutung und Verwerthung des Experiments eine durchaus ungerechtfertigte ist. Meissner's Lehre basirt einestheils gerade auf dem Gesetze der Identität, während anderntheils das Endergebniss in einen schroffen Gegensatz gegen dasselbe tritt. Wir haben bei Prüfung der Thatsachen des Einfach- und Doppeltsehens mit zwei Augen gesehen, dass sich die Fälle, in denen die Umstände für die naturgemässe Vereinigung der beiden Netzhautbilder zu einem einfachen körperlichen Bilde zu ungünstig sind, schwer unter ein bestimmtes Rubrum bringen lassen. Es kommt dabei, selbst wenn man das auf Alienation des Muskelgefühls beruhende Doppeltsehen ausschliesst, auf vielfache

Umstände an: auf die Art und Form der Gesichtsobjecte, auf die Beleuchtung derselben, auf die Lage zu den Augen und zum Fixationspunkte, auf die Individualität des Beobachters, Uebung, Gewohnheit, natürliche Disposition, Aufmerksamkeit; kurz, es lässt sich bei der Menge der Einfluss nehmenden Momente ein allgemeines Gesetz nicht aufstellen. Wollte man durchaus einen Raum bezeichnen, dessen Inhalt vorzugsweise doppelt gesehen wird — so müsste dies der zwischen beiden Sehaxen befindliche sein. Aber weder die Bedingungen des Einfachsehens, noch die des Doppeltsehens lassen sich auf einen bestimmten Raum einschränken, und es scheint unmöglich, bei vorurtheilsfreier Beobachtung auf diesem Wege zur Existenz eines Horopters zu gelangen.

Endlich existirt noch der Begriff des Horopters als des Ortes der Doppelbilder, wie er ursprünglich von Aguilonius eingeführt wurde. Man sieht leicht, dass die Annahme von nur einer Fläche als Ort der Doppelbilder mit Nothwendigkeit fordert, dass der Inhalt dieser Fläche einfach erscheine, und so kam es, dass sich mit jener Bedeutung die Bedeutung als Inbegriff der einfach gesehenen Punkte verband. Dadurch aber, dass die Hypothese der Identität in den Begriff hineingetragen wurde, musste Verwirrung entstehen. Im Allgemeinen scheint man dem Ort der Doppelbilder verhältnissmässig wenig Aufmerksamkeit geschenkt zu haben, und diese Bedeutung des Horopters trat mehr und mehr in den Hintergrund. v. Recklingshausen, der letzte, welcher sich mit dem Orte der Doppelbilder beschäftigt hat, will diesen ganz von dem Horopter in der früheren Bedeutung trennen (s. oben). Meine Ansicht über den Ort der Doppelbilder habe ich oben explicite gegeben; das Wesentliche ist, dass es nicht eine Fläche ist, die beiden Augen gemeinsam ist, sondern zwei, eine sphärische Fläche für jedes Auge. Bei grosser Entfernung des Fixationspunktes können freilich beide Sphären als zusammenfallend angesehen und ein Stück dieser combinirten Sphäre vom grossen Halbmesser als Ebene betrachtet werden.

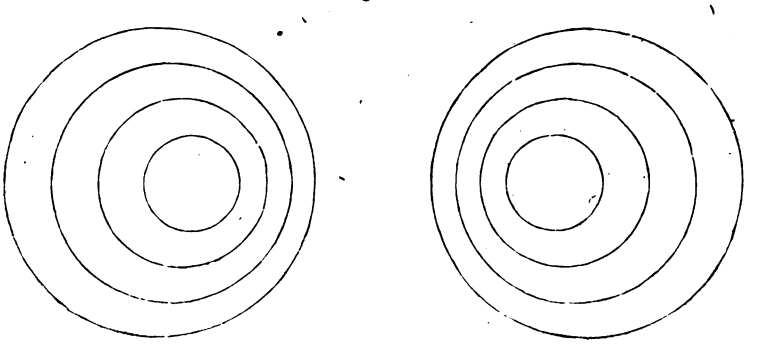
Die beiden Projectionssphären könnten als zwei Horopterflächen gelten, wenn man den Gedanken des Aguilonius consequent weiter verfolgen wollte, und diese Flächen sind allerdings von hoher physiologischer Bedeutung. Allein Aguilonius selbst, wie alle seine Nachfolger verbinden mit dem Worte Horopter den Sinn einer einheitlichen Fläche, eines Dinges, das beiden Augen gemeinsam und für ihre gleichzeitige Thätigkeit charakteristisch ist, und in diesem Sinne ist die Existenz des Horopters durchaus nicht nachzuweisen. Ebenso wenig ist die Voraussetzung richtig, dass die ausserhalb jener Fläche oder Flächen gelegenen Objecte jederzeit doppelt erscheinen müssten. Ich würde daher auch nicht den viel bezeichnenderen Ausdruck Projectionssphären mit dem Ausdruck Horopter vertauschen mögen. Es würde widersinnig

sein, nach Allem, was seither über den Horopter gesagt und geschrieben ist, von dem Horopter eines Auges zu sprechen.

Wenn ich nachgewiesen zu haben glaube, dass die drei Definitionen, welche man für den Horopter möglicherweise geben könnte, sämmtlich keine innere Berechtigung haben, auf keinen Begriff führen, der für die Physiologie des Sehens von irgendwelcher Bedeutung ist, so wird es mir vielleicht gestattet sein, den Namen, der nun einmal ein paar Säcula hindurch das Bürgerrecht in der Wissenschaft genossen hat, in anderer Weise zu verwenden. Dabei soll ihm etwas von seiner alten Form und Eigenschaften verbleiben und zwar diejenige Form, an die sich der für die Physiologie des Gesichtssinnes so bedeutungsvolle Name Joh. Müller's knüpft.

Ich habe bei Gelegenheit einiger stereoskopischen Versuche darauf aufmerksam gemacht, (cf. pag. 36) dass eine gewisse Beschaffenheit der beiden Augen dargebotenen zu combinirenden Bildern macht, dass im Sammelbilde die Figur in einer der Angesichtsfläche parallelen Ebene zu liegen scheint, dass eine solche Ebene die Eigenschaft hat, dass zunächst nach ihr, d. h. nach der Abweichung von ihr, die Tiefendistanz anderer Bildtheile beurtheilt wird. Aus den Versuchen, die zu diesem Zwecke angemessen vervielfältigt und modificirt werden müssen, lässt sich leicht ein Gesetz ableiten, das mit der Erklärung des stereoskopischen Fundamentalversuchs vollkommen harmonirt, dass alle diejenigen zusammengehörigen Punkte beider Einzelbilder, deren Abstand in horizontaler Richtung von einander gleich gross ist, im Sammelbilde in gleicher Entfernung oder besser in einer der Angesichtsfläche parallelen Ebene gesehen werden. Diese Ebene schien um so näher, je weniger, um so ferner, je mehr der horizontale Abstand der combinirten Punkte betrug. Welche Ebene des Sammelbildes mit der Bildfläche, der Ebene des Papiers coincidirt, hängt von der Einstellung der Augen ab, kann also auch willkürlich verändert werden, wodurch dann die ganze körperliche Figur näher oder ferner gerückt wird. — Folgendes Experiment diene als Beispiel.

Fig. 36.



Im stereoskopischen Sammelbilde der Figur 36. sieht man eine Anzahl gerade hintereinander mit ihrer Fläche parallel liegender Kreise (oder genauer Ellipsen), von denen der kleinste der vorderste, der grösste der hinterste ist. So verlangt es auch obige Regel; denn die Abstände der zusammengehörigen Punkte der kleineren Kreise in Fig. 36 sind geringer als in den grösseren Kreisen.

Bei der Besprechung der Krümmung des stereoskopischen Sehfeldes, pag. 58, wurde auch bereits darauf hingewiesen, dass die eben gebrauchte Ausdrucksweise keine ganz genaue ist. Statt von den der Angesichtsfläche parallelen Ebenen müssen wir richtiger von gekrümmten Flächen sprechen, von denen freilich kleine centrale Theile immerhin als der Angesichtsfläche parallele Ebenen betrachtet werden dürfen.

Es ist leicht, die Anwendung auf das Verhalten der Netzhautbilder zu machen. Da die Einzelbilder bei den stereoskopischen Versuchen jedem Auge gerade gegenübergestellt werden, so sind die Netzhautbilder diesen Bildern geometrisch ähnlich. Das Gesetz also, dass so eben von den stereoskopischen Einzelbildern ausgesprochen wurde, ist der sofortigen Uebertragung auf die Netzhautbilder fähig. Ein einfacher Fall ist folgender: Jedem Auge werden zwei horizontal nebeneinander liegende, gleichweit von einander entfernte Punkte geboten (Fig. 37).

Fig. 37.

$a_{,}$ $b_{,}$ $a_{,,}$ $b_{,,}$

Das Combinationsbild zeigt zwei in der Ebene des Papiers befindliche Punkte. In Fig. 27. Taf. IV. sind $a_{,}$ $b_{,}$ und $a_{,,}$ $b_{,,}$ die Netzhautbilder, deren Projectionslinien sich in a und b schneiden, $a\,b$ stellt also das Combinationsbild dar. Man sieht sofort, dass, da $a_{,}b_{,} = a_{,,}b_{,,}$ ist, die beiden Punkte a und b in der Peripherie eines Kreises liegen müssen, der durch die Kreuzungspunkte der Projectionslinien geht, nach der bekannten Construction für den Müller'schen Horopter (pag. 8). $\alpha_{,}\beta_{,}$ sei ein ebenso grosses Netzhautbild wie $a_{,}b_{,}$, aber von anderer Lage. Das Combinationsbild $\alpha\beta$ (aus $\alpha_{,}\beta_{,}$ und $a_{,,}b_{,,}$) liegt dann in $\alpha\beta$, ebenfalls in einem Kreise, doch von anderem Radius. — Hieraus lässt sich die Regel ziehen: Wenn in beiden Netzhautbildern zwei in gleichen Grundlinienmeridianen liegende Punkte gleichen Abstand haben, so fällt das Combinationsbild in die Peripherie eines Kreises, der durch beide Kreuzungspunkte der Projectionslinien geht.

Einen solchen Kreis nun schlage ich vor Horopterkreis zu nennen. Es giebt unzählige Kreise dieser Art. Sie sind einmal verschieden nach der Lage, indem sie allen verschiedenen Grundlinienmeridianen angehören, also jede mögliche Neigung gegen die Angesichtsfläche haben können, und nur das gemeinsam haben, dass sie alle die

beiden Kreuzungspunkte der Projectionslinien passiren. Sodann können die Horopterkreise jeden beliebigen Radius haben. Der Radius wächst in dem Grade, als die beiden Netzhautbilder einander näher rücken. Den Abstand der letzteren, durch die Entfernung des Bildes eines Punktes in einem Auge von dem Bilde desselben Punktes im andern Auge will ich der Kürze halber Intervall nennen. Die geringste Grösse, welche das Intervall der Netzhautbilder haben kann, ist gleich der Länge der Grundlinie, und das ist der Fall, wenn das Gesichtsobject unendlich fern liegt. Je näher ein Punkt dem Auge ist, um so grösser ist das Intervall seiner Netzhautbilder und um so kleiner ist der Radius des zugehörigen Horopters.

Was zunächst in Bezug auf die stereoskopischen Versuche auseinandergesetzt wurde, gilt offenbar auch für das körperliche Sehen überhaupt. Auch hier haben die Horopter die Bedeutung, dass sie zum Maassstabe für die Tiefendimension dienen. Ein körperlicher Gegenstand kann, wie überhaupt der ganze vor uns liegende Raum des Sehfeldes betrachtet werden als geschichtet aus unzähligen hintereinanderliegenden, der Angesichtsfläche parallelen Ebenen, oder genauer aus gekrümmten Flächen. Auf solche Flächen beziehen wir uns, wenn wir von vorn oder hinten sprechen, wenn wir über näher und ferner urtheilen. Jede der Schichten, der Horopterebenen im ungenauern Sinne, theilt den Sehfeldraum in zwei Theile; sie bildet die Grenze (ὅρος) zwischen vorn und hinten, wenn gerade die Aufmerksamkeit auf sie gerichtet ist. Der Horopter des jedesmal fixirten Punktes ist also der wichtigste, und auf ihn werden vorzugsweise die Tiefenbestimmungen, die Ausdrücke vor und hinter bezogen. Man könnte daher den Horopter des Fixationspunktes den Haupthoropter oder schlechtweg den Horopter nennen. Für ihn passt der Name Horopter, zu deutsch: Grenze des Sehens, mindestens ebenso gut, wie für irgend einen der Begriffe, die bisher mit dem gleichen Namen bezeichnet worden sind.

Es liegt die Frage nahe, ob nicht gewisse Gruppen von Horopterkreisen so zusammengeordnet sind, dass sie zusammenhängende Flächen von analogen Eigenschaften bilden, ob es also Horopterflächen giebt. Dies ist indessen in strengem Sinne nicht der Eall.

Die Horopterkreise haben die Eigenschaft, dass die Bilder aller Punkte ihrer Peripherie gleiches Intervall haben. Denken wir uns eine Gruppe von Horopterkreisen von gleichem Radius (also auch gleichem Intervall der Netzhautbilder) und von allen möglichen Neigungen ihrer Ebenen, also entsprechend allen möglichen Grundlinienmeridianen. Diese Kreise bilden eine Fläche, welche angesehen werden kann als die Oberfläche eines Rotationskörpers, entstanden durch Drehung eines Horopterkreises um die Grundlinie. Für jeden durch die Grundlinie gehenden Durchschnitt dieses Körpers, — der eben ein Horopterkreis ist, — wird

es gelten, dass Distancen in seiner Peripherie gleiche Netzhautbilder liefern. Aber wird auch eine beliebige Distance in der krummen Fläche gleiche Netzhautbilder liefern, eine Distance, deren beide Endpunkte in verschiedenen Horopterkreisen liegen? Erst dann hätte man ein Recht, diese Gruppen von Horopterkreisen als wirklich zusammengehörig, die Fläche als Horopterfläche zu betrachten. Dass dies aber nicht der Fall ist, lehrt folgende Betrachtung. In der erwähnten, durch Aggregation von gleich grossen Horopterkreisen gebildeten krummen Fläche nehme man zwei beliebige Punkte P und Q an, und lege durch jeden von ihnen und die Grundlinie je eine Ebene. Diese Ebenen schneiden die Netzhäute in gleichen Grundlinienmeridianen; die krumme Fläche aber in Horopterkreisen. Die Bilder von P und Q seien p und q in einem $p_,$ und $q_,$ im zweiten Auge. Es fragt sich, ob, resp. für welche Fälle, $\text{arc.}\, pq = \text{arc.}\, p_, q_,$ ist.

Die erwähnten Bogen pq und $p_, q_,$ bilden die dritten Seiten je eines sphärischen Dreiecks auf jeder Netzhaut, dessen beide andere Seiten die Grundlinienmeridiane der Punkte p und q, $p_,$ und $q_,$ sind. Der Schnittpunkt beider Meridiane, also die Spitzen der Dreiecke, liegen da, wo die verlängerte Grundlinie die Netzhäute schneidet. In den sphärischen Dreiecken sollen folgende Bezeichnungen gelten. Die drei Seiten heissen $\alpha, \beta, \gamma, -\alpha_,, \beta_,, \gamma_,,$ von denen $\gamma = pq$ und $\gamma_, = p_, q_,$ ist. Die den Seiten γ und $\gamma_,$ gegenüberliegenden Winkel sind in beiden Dreiecken gleich ($\angle \varrho$).

Lassen wir nun, um die Aufgabe in möglichster Allgemeinheit zu lösen, die Gleichheit des Intervalles der Netzhautbilder von P und Q unberücksichtigt, so haben wir für beide sphärische Dreiecke folgende Gleichungen.

$$\cos\gamma = \cos\alpha.\ \cos\beta + \sin\alpha.\ \sin\beta\cos\varrho \qquad (1.)$$

$$\cos\gamma_, = \cos\alpha_,\ \cos\beta_, + \sin\alpha_,\ \sin\beta_,\cos\varrho \qquad (2.)$$

Durch Division von (1.) durch (2.) wird der in beiden Gleichungen vorkommende Winkel ϱ entfernt.

$$\frac{\sin\alpha.\sin\beta.}{\sin\alpha_,\sin\beta_,} = \frac{\cos\gamma - \cos\alpha.\cos\beta}{\cos\gamma_, - \cos\alpha_,\cos\beta_,}.$$

Durch Umformung dieser Gleichung und Auflösung nach $\cos\gamma$ erhält man:

$$\frac{\sin\alpha,\sin\beta,\cos\gamma - \sin\alpha,\sin\beta,\cos\alpha.\cos\beta}{\sin\alpha.\sin\beta.\cos\gamma_, - \sin\alpha.\sin\beta.\cos\alpha_,\cos\beta_,} = 1,$$

$$\cos\gamma = \frac{\sin\alpha.\sin\beta.\cos\gamma_, + \sin\alpha,\sin\beta,\cos\alpha\cos\beta - \sin\alpha\sin\beta\cos\alpha_,\cos\beta_,}{\sin\alpha,\sin\beta,}$$

$$\cos\gamma = \cos\gamma_,.\frac{\sin\alpha.\sin\beta}{\sin\alpha_,\sin\beta_,} + \cos\alpha.\cos\beta - \sin\alpha.\sin\beta.\text{cotg.}\,\alpha,\text{cotg.}\,\beta,. \qquad (3.)$$

Nach der Gleichung (3.) ist $\cos\gamma$ also nur dann $= \cos\gamma_{,}$, wenn der Factor $\frac{\sin\alpha.\sin\beta}{\sin\alpha_{,}\sin\beta} = 1$ ist und das zweite und dritte Glied der rechten Seite der Gleichung (3.), welche entgegengesetzte Zeichen führen, sich aufheben, wenn also

$$\cos\alpha.\cos\beta = \sin\alpha.\sin\beta.\operatorname{cotg}\alpha_{,}.\operatorname{cotg}\beta_{,}.$$

Dies findet statt in folgenden zwei Fällen:

1) Wenn $\alpha = \alpha_{,}$ und $\beta = \beta_{,}$ und

2) wenn $\alpha = \beta_{,}$ und $\beta = \alpha_{,}$.

Die erste Bedingung bedeutet, dass die Punkte P und Q unendlich fern sind; die zweite Bedingung sagt, dass die Punkte P und Q zu verschiedenen Seiten der Medianebene und um gleiche Strecken von ihr entfernt liegen müssen*). Nur dann ist $\gamma = \gamma_{,}$, d. h. nur dann kann die Distance PQ gleichgrosse Netzhautbilder liefern.

Im strengen Sinne giebt es also eine Horopterfläche nur in unendlicher Ferne. Praktisch freilich wird es erlaubt sein, schon für einigermaassen erhebliche Entfernungen eine Horopterebene anzunehmen, welche dann mit der ursprünglichen Aguilonius'schen Horopterebene beinahe identisch ist.

Nach dieser kurzen Skizze fasse ich mit einigen Worten die Eigenschaften zusammen, welche dem Horopter zukommen, in dem Sinne, den ich ihm beigelegt habe, nnd den ich ihm fernerhin beizulegen proponire, falls man es nicht vorzieht, jenen Ausdruck überhaupt fallen zu lassen und der Geschichte anheimzugeben. Zuvörderst ist zu bemerken, dass die sogenannte Identität der Netzhäute ebensowenig damit zu schaffen hat, wie das Einfach- und Doppeltsehen. Dennoch ist der Begriff, den ich dem Horopter unterlege, keineswegs ein willkürlicher und ausser Zusammenhang mit älteren Anschauungen; man wird vielmehr finden, dass ich, so weit möglich, den bisherigen Ansichten und Ausdrücken mich anzuschliessen bemüht gewesen bin. Immer bleibt dem Horopter seine besondere Beziehung zur gemeinschaftlichen Thätigkeit beider Augen, zum Binocularsehen.

Gestalt und Lage der Horopter ist wesentlich durch die Lage der beiden Augen und speciell der Grundlinie bedingt. Die Horopter sind Kreise, welche durch die Kreuzungspunkte der Visirlinien gehen; es giebt deren unzählige. Der wichtigste Horopterkreis ist der durch den fixirten Punkt gehende, der Haupthoropter. Horopterflächen giebt es genau genommen nicht, indem keine Fläche existirt, welche analoge Eigenschaften besässe, wie der Horopterkreis. Dagegen kann man in unendlicher Ferne eine der Angesichtsfläche parallele Horopterebene an-

*) Vergleiche den Satz pag. 9.

nehmen und praktisch ist nichts dagegen einzuwenden, wenn man, auf mathematische Genauigkeit Verzicht leistend, auch für endliche Entfernungen, wenn sie nicht zu gering sind, Horopterebenen zulässt.

Die Horopterkreise enthalten die Schnittpunkte der in gleichen Grundlinienmeridianen befindlichen Netzhautpunkte. Was in der Peripherie des Horopters liegt, liefert gleiche Netzhautbilder in diesen Meridianen. Dies lässt sich auch so ausdrücken: Distancen in der Peripherie des Horopters erscheinen beiden Augen unter gleichem Gesichtswinkel.

Die physiologische Bedeutung des Horopters bezieht sich zunächst auf die Wahrnehmung, Beurtheilung der Tiefe, Entfernung, Körperlichkeit. Sie tritt am klarsten hervor und lässt sicht am leichtesten analysiren bei Versuchen mit dem Stereoskop.

Weiterhin ist der Horopter von Wichtigkeit für die Augenbewegung.

Achtes Capitel.

Schlusswort über die räumlichen Gesichtswahrnehmungen.

Das Sehen ist den meisten Fällen ein sehr complicirter Process. Das Resultat eines Blickes lässt sich in eine Kette von Vorgängen zerlegen, angefangen von der physikalischen Entstehung des Netzhautbildes, welches als Empfindungsreiz dient, bis zu der Action der höheren und höchsten Geisteskräfte, welche das Verständniss des Empfundenen vermitteln. Der endliche Erfolg eines Blickes steht in keinem constanten Verhältniss zu dem ursprünglichen Eindruck, weil auf dem Wege zwischen beiden sehr variable Factoren in Wirksamkeit treten. Bei gleichen Netzhautbildern kann die dadurch erzeugte Gesichtsvorstellung nicht nur bei verschiedenen Individuen, sondern auch bei demselben Individuum unter verschiedenen Umständen ausserordentlich verschieden sein. Die variablen Factoren sind theils sinnlicher, theils psychischer Art; der Act des Sehens ist nicht bloss ein sinnlicher, er ist zugleich ein intellectueller. Daher die Verschiedenheit der Resultate. Wo die rein sinnliche Thätigkeit aufhört und die psychische anfängt, ist, so gross der Unterschied beider im Allgemeinen ist, doch im Einzelnen schwer oder unmöglich zu entscheiden. Vielleicht giebt es Uebergänge zwischen ihnen, und man kann

eine Art Stufenreihe annehmen, nach der die Thätigkeiten in unwillkürliche, mehr und mehr bewusste, endlich überlegte sich sondern. Unser Urtheil über Entfernung z. B., über räumliche Verhältnisse ist zuweilen ein unmittelbar zwingendes, gleichsam sinnliches, zuweilen erst das Resultat wirklicher Ueberlegung; im ersten Falle eine unbewusste, im zweiten eine wenigstens theilweise bewusste Benutzung des durch die Netzhautbilder der Seele gelieferten Materials. Vielleicht darf die Physiologie die zweite Art des Sehens, die höhere Geisteskräfte (Reflexion) zu Hülfe nimmt, nicht mehr im eigentlichen Sinne Sehen nennen; allein in Wirklichkeit spielt die Benutzung dieser Kräfte eine so bedeutende Rolle, dass sie nicht ignorirt werden dürfen.

Das Bestreben der heutigen Physiologie der Sinnesorgane muss darauf gerichtet sein, die einzelnen Stadien des Wahrnehmungsvorgangs von der Reizung des Sinnesnerven bis zur fertigen Vorstellung zu sondern und so weit möglich gesondert der Untersuchung zu unterwerfen. Wir dürfen nicht mehr zufrieden sein, den gereizten Nerven mit einer der specifischen Sinnesenergie entsprechenden Empfindung antworten zu lassen und alles Weitere einem unbestimmten Etwas, der Gehirnthätigkeit, der Psyche, oder wie man es nennen mag, zu überlassen. Allerdings ist der Schritt von der subjectiven Empfindung zur objectiven Anschauung ein sehr bedeutender, und wir betreten damit ein ganz anderes Feld. Aber darum bleibt der Schritt auf das neue Feld noch nicht jeder Erforschung entzogen, unserer Erkenntniss für immer verschlossen. Seit wir die Wahrnehmung, Anschauung streng scheiden, einerseits von der Empfindung, andererseits von der Vorstellung, ist der Forschung die Bahn vorgezeichnet. Da der Uebergang von der subjectiven Empfindung zur objectiven Wahrnehmung einzig und allein von dem Causalitätsgesetz geleitet wird, der einzigen unsern Verstandesoperationen zu Grunde liegenden Richtschnur, so vermögen wir jenen Vorgängen sehr wohl auf Schritt und Tritt zu folgen. Ohne über die Apriorität der Anschauungsformen, Raum und Zeit, Reflexionen anzustellen, können wir sie als gegeben betrachten und nun die mit Hülfe beider zu Stande kommenden Wahrnehmungen analysiren. Der Erfolg wird dann die Methode rechtfertigen müssen.

Gehen wir diesen Weg, so werden wir gut thun, auch unsere wissenschaftliche Sprachweise danach ein wenig zu purificiren und z. B. nicht, wie es noch heute in den besten physiologischen Lehrbüchern zu finden ist, von Ortsempfindungen und Aehnlichem reden. Der Ort, also ein Raumbegriff hat mit der specifischen Sinnesenergie, überhaupt *mit der Empfindung* gar nichts zu schaffen; er, und ebenso die Zeit,

ist nichts als die Form, mittels deren der Verstand die Empfindungen objectivirt, die objectiven Wahrnehmungen construirt. Wie schwer eine solche Verwechselung unter Umständen wiegen kann, hoffe ich in Folgendem zu zeigen. Die Lehre von der Identität der Netzhäute hätte niemals entstehen können, wenn man im Auge behalten hätte, dass die Wahrnehmung des Orts unter allen Umständen Sache des Verstandes sei, nicht Sache des Sinnesorgans, da letzteres nur das Material für ersteren liefert. Man hätte niemals in den Fehler verfallen können, die Flächenanschauung, also die Wahrnehmung zweier Dimensionen des Raumes unmittelbar der Empfindung der Netzhaut zuzuschreiben, weil diese nach zwei Dimensionen ausgedehnt sei, dahingegen für die dritte Dimension, die Wahrnehmung der Tiefe, höhere geistige Thätigkeiten in Anspruch zu nehmen, während ja doch der Begriff einer Dimension des Raumes überhaupt etwas der subjectiven Empfindung durchaus Fremdes enthält. Kurzum es scheint mir, wenn man der jetzt in vielen Punkten herrschenden Verwirrung entgehen will, dringend geboten, mit strengerer Logik zu Werke zu gehen, und einerseits nicht der Empfindung Leistungen aufzubürden, denen sie nicht gewachsen ist, andererseits nicht in einen nebelhaften Seelenbegriff alles dasjenige hineinzuschieben, was nicht unmittelbar physischen Ursprungs ist.

Bei einer Analyse der räumlichen Gesichtswahrnehmungen, die ich hier nur andeuten will, wird es darauf ankommen zu zeigen, wie die Verwerthung des von dem Sinnesorgane gelieferten Materials durch den Verstand zu Stande kommt, in welcher Weise vermittels des allwaltenden Causalitätsgesetzes aus der subjectiven Empfindung die objective räumliche Wahrnehmung gebildet wird. Der dabei obwaltende Mechanismus wird eben eine Construction im Raume sein müssen, eine Reproduction des auf den Gesichtssinn einwirkenden Objects nach den Daten, die es vermöge seiner optischen Eigenschaften auf das peripherische Sehorgan zu liefern im Stande ist. Ueber die Data der Empfindungsorgane dürfen wir aber auch zunächst nicht hinausgehen, wenn wir nicht auf ein ganz anderes Gebiet kommen wollen, als das der Wahrnehmuug. Wenn wir einen undurchsichtigen Gegenstand anblicken, so werden wir nur von einem Theile seiner Oberfläche Bilder auf unserer Netzhaut erhalten und können, selbst wenn wir den Gegenstand zum ersten Mal sehen, aus dem Retinabilde eine Wahrnehmung construiren. Wir können aber nicht den abgewendeten Theil der Oberfläche oder das Innere des Körpers wahrnehmen. Durch Hinzutritt des zweiten Auges wird die Wahrnehmung vollkommener werden, durch Betrachtung des Gegenstandes von verschiedenen Seiten, durch Betrachtung seines Inneren u. s. w., also durch Summirung verschiedener Wahrnehmungen können wir eine vollkommenere Kenntniss erlangen und werden uns dann noch immer auf dem Gebiete der Wahrnehmung bewegen. Wenn wir aber das Object

bereits von früheren Erfahrungen her kennen, so geschieht eine unwillkürliche Ergänzung der unzulänglichen Wahrnehmung durch die aus der Erfahrung, d. h. aus früheren Wahrnehmungen zurückgebliebenen Vorstellungen. Es ist aber für die Analyse der Wahrnehmungen von grösster Wichtigkeit, hier eine strenge Sonderung Platz greifen zu lassen und jede Ergänzung der Wahrnehmung durch Vorstellungen, welche die Erinnerung oder die Einbildungskraft liefert, nach Möglichkeit auszuschliessen.

Räumliche Vorstellungen haben wir auch im Traume, bei geschlossenen Augen; auch der Erblindete, ja sogar der Blindgeborne hat sie nicht minder als der Sehende. Bei dem, der niemals gesehen hat, werden diese Vorstellungen anderer Natur sein, da sie nur auf einem Wege, vermöge des Tast- und Muskelsinns gewonnen sind, während bei Sehenden Tast- und Muskelsinn einander controlliren, ergänzen und rectificiren. Die räumliche, körperliche Vorstellung ist mithin zunächst gänzlich unabhängig vom Gesichtseindruck; ein sehr mangelhaftes Netzhautbild kann unter Umständen eine sehr vollkommene Vorstellung, umgekehrt ein sehr vollkommenes Netzhautbild eine sehr mangelhafte Vorstellung erzeugen. Es concurriren hierbei eben Geistesthätigkeiten höherer Art, die von der Sinneswahrnehmung unabhängig sind.

Sind wir gleich keineswegs immer im Stande, das wirklich Empfundene oder das aus der Empfindung direct Erschlossene von dem bloss Vorgestellten, Hinzugedachten zu unterscheiden und, sind wir auch deshalb bei unsern Wahrnehmungen mannigfachen Täuschungen ausgesetzt, so lässt sich doch auch praktisch meist ein Unterschied machen: So namentlich bei den Wahrnehmungen und Vorstellungen, die wir durch Vermittelung des Gesichtssinns gewinnen. Ob hier die Wahrnehmung eine reine, bloss auf die Data der Empfindung sich stützende ist, oder ob die Einbildungskraft vorhandene Lücken ergänzt, lässt sich oft leicht constatiren. Ein wichtiger Erfahrungssatz belehrt uns darüber, den die Theorie aufs Vollständigste bestätigt und erklärt. Die Duplicität des peripherischen Sehorgans ist für alle räumlichen Gesichtswahrnehmungen von **höchster Wichtigkeit.** Ein Auge ist im Allgemeinen nicht im Stande eine genügende räumliche Wahrnehmung zu gewähren, keine der drei Dimensionen vermögen wir nach einem Netzhautbilde sicher zu schätzen. Unwillkürlich und unhemmbar tritt die Vorstellung in die Lücke ein, und was an sinnlichem Material fehlt, wird aus dem Gedächtniss oder aus der Phantasie ergänzt. Daher sind denn auch die Täuschungen bei dem mit einem Auge Sehenden viel häufiger, und der Einäugige, der immer nur mit einem Auge sieht, wird noch viel weniger als der binocular Sehende fähig sein, die ergänzende Vorstellung von der sinnlich begründeten abzusondern.

Um also den Unterschied zwischen der sinnlichen Wahrnehmung und der Vorstellung scharf zu präcisiren, fasse ich die erstere als den engeren Begriff auf und glaube mich dabei an den Sprachgebrauch anzuschliessen. Wahrnehmungen sind ihrem genus nach freilich Vorstellungen, aber sie sind eine besondere Art derselben, solche nämlich, die im concreten Falle lediglich aus dem durch die Reizung des Empfindungsnerven gelieferten Materiale gebildet sind, ohne Zuthat von Seiten anderer Seelenkräfte. Die Empfindung ist, wenn ich so sagen darf, die ratio sufficiens der sinnlichen Wahrnehmung.

Wie sind wir nun im Stande vermöge des Raumbegriffs und des Causalitätsgesetzes, der einzigen Voraussetzungen, welche wir zu machen berechtigt sind, die räumliche Gesichtswahrnehmung zu bilden? Ich prätendire nicht, hier eine gründliche und erschöpfende Beantwortung dieser Frage zu geben, und will mich nur so weit mit derselben beschäftigen, als der Zusammenhang mit dem Früheren erfordert.

Wenn die peripherische Nervenausbreitung des Auges eine Erregung durch einen adäquaten Reiz, also durch ein mittels der dioptrischen Medien erzeugtes Bild erleidet, so wird die dadurch entstehende Empfindung als ein veränderter Zustand ins Bewusstsein gelangen, als eine **Veränderung**, die wir kraft des Causalitätsgesetzes auf eine **Ursache** beziehen müssen. Da wir von einer in unserem eigenen Körper vorgegangenen Veränderung, welche die Ursache der Alteration in dem Empfindungsnerven sein könnte, nichts wissen, so sind wir genöthigt, eine ausser uns befindliche Ursache anzunehmen. Mit Hülfe des Raumbegriffs verlegen wir die Ursache, welche auf uns eingewirkt hat, nach aussen, versetzen sie an einen bestimmten Ort, zu dessen näherer Bestimmung uns die einzelnen Eigenschaften der erfahrenen Reizung dienen. Von Raum und Ort kann aber in der Empfindung selbst nichts enthalten sein; es ist Sache des Verstandes, in dieser ihm immanenten Form die Ursache der erlittenen Reizung, der Empfindung, zu objectiviren*). Diese Wahrheit ist von verschiedenen Seiten so vielfach urgirt worden, dass ich sie nicht ausführlicher zu erörtern brauche. Ich begnüge mich, angesichts der vielen Irrthümer, die dennoch täglich in dieser Beziehung

---

*) Arthur Schopenhauer drückt sich darüber recht treffend so aus: „Der Verstand hat die objective Welt erst selbst zu schaffen; nicht aber kann sie, schon vorher fertig, durch die Sinne und die Oeffnungen ihrer Organe bloss in den Kopf hineinspazieren. Die Sinne nämlich liefern nichts weiter, als den rohen Stoff, welchen allererst der Verstand, mittelst der angegebenen einfachen Formen Raum, Zeit und Causalität, in die objective Auffassung einer gesetzmässig geregelten Körperwelt umarbeitet".

begangen werden, wiederholt darauf hinzuweisen, dass es ein unrichtiger, irreleitender Ausdruck ist, wenn man von Ortsempfindungen spricht. Empfunden wird der Reiz, wahrgenommen der Ort, von dem aus der Reiz wirkt, aber welch ein weiter Weg ist noch zwischen beiden zurückzulegen! Es versteht sich also, dass der Identitätssatz, wenn er, wie fast überall, so ausgedrückt wird, dass zwei identische Punkte der Retinae gleiche, zwei differente Punkte verschiedene Ortsempfindung veranlassen, keinen Sinn hat. Eine Discussion lässt er erst zu, wenn er in eine correctere Form gebracht wird. Aber auch wenn man das Wort Wahrnehmung an Stelle des Wortes Empfindung substituirt, springt der in dem Satze enthaltene logische Widerspruch in die Augen. Ich komme zum Schluss darauf zurück. Zuvor seien noch über die Ortswahrnehmung einige Worte gestattet, welche zum Theil die früheren Ergebnisse recapituliren sollen.

Zweierlei gehört dazu, dass die Lage eines Punktes im Raum unserm Auge gegenüber vollständig bestimmt sei 1) die Richtung, welche er zu einem Auge hat, die nach dem Auge gezogene gerade Linie, in welcher der Punkt liegt, also der geometrische Ort; 2) die Entfernung, in welcher derselbe vom Auge aus liegt, der wirkliche Ort. Kennen wir zwei geometrische Orte, d. h. zwei verschiedene gerade Linien, in denen der Punkt liegt, so ist die Entfernung und der wahre Ort schon dadurch gegeben.

Wie bestimmen wir nun die Seh-Richtung eines Punktes, wie die Entfernung? Welche Data haben wir in der Empfindung, um beide wahrzunehmen?

Die **Richtung des Sehens** wird bestimmt wie die Richtung jeder geraden Linie, nämlich durch die Kenntniss zweier Punkte derselben Der Kreuzungspunkt der Visirlinien und der Bildpunkt auf der Retina sind diese beiden bekannten Punkte. Von der Lage beider sind wir durch ein rein sinnliches Moment unterrichtet, durch die Empfindung in den Muskelnerven zunächst des Auges, dann auch des Kopfes und des ganzen Körpers. Diese Thätigkeit des motorischen Apparats muss nothwendig zu der Empfindung im Sehnerven hinzutreten, um die räumliche Gesichtswahrnehmung zu vollenden. Ohne das Bewusstsein der Bewegung des eigenen Körpers oder der Theile desselben findet eine Perception des Raumes überhaupt nicht statt, ja ohne solche ist die Entstehung des Raumbegriffs gar nicht denkbar. — Die Theile des eigenen Körpers müssen wir zuvörderst mit Hülfe der gegebenen Raumanschauung wahrnehmen, wie andre Objecte. Haben wir wahrgenommen, welcher Punkt unsers Körpers eine Reizung erfahren, so ist es weiter Sache des Verstandes, strenge dem Causalitätsverhältniss folgend, über die Natur des Reizes Aufschluss zu gewinnen

Das Gefühl der Spannung in einem Muskel oder einer Muskelgruppe giebt uns Kenntniss von der Stellung des betreffenden Organs. So ist uns die Stellung des Bulbus und speciell der Retina durch den Tensionsgrad in den Augenmuskeln gegeben. Freilich genügt noch nicht die Kenntniss der Lage der Retina als Ganzes; es muss auch die Lage des augenblicklich gereizten Punktes, des in Erregung versetzten Retina-Elements ins Bewusstsein treten. Ueber die Möglichkeit dessen ist viel gestritten worden, und in der That ist es sehr schwierig, bei dem dermaligen Zustande unserer Kenntnisse den Mechanismus hierfür anzugeben. Ohne mich auf die Erörterung der hierbei in Vorschlag gebrachten Hypothesen (z. B. der Lotze'schen Annahme eines jeder Empfindung zukommenden Localzeichens) einzulassen, halte ich mich an den früher bereits benutzten Vergleich. Wir wissen bis jetzt auch nicht anzugeben, in welcher Weise die Localisation der Reizung einer Hautstelle zu Stande kommt und in beiden Fällen muss es gleiche Bewandtniss haben. Derselbe Mechanismus, mittels dessen wir die gereizte Faser des sensibeln Hautnerven im Bewusstsein isoliren, muss auch für die Faser des Sehnerven anwendbar sein. Es kann daher die Analogie vollkommen genügen, dass wir die Stelle einer Hautreizung sicher anzugeben vermögen; die subtilere Localisation auf der Netzhaut ist durch den grossen Reichthum an Nervenendigungen hinlänglich erklärt. Es darf kein Bedenken erregen, dass wir die Netzhaut nicht so unmittelbar wahrnehmen, wie die Oberfläche der Haut. Der Unterschied liegt in der verschiedenen Natur der ihnen beiden angemessenen Reize. Der die Retina treffende, aus der Ferne wirkende Lichtreiz wird gewohnheitsgemäss in die Ferne verlegt, ohne dass die Reizungsstelle der Membran jemals direct zum Bewusstsein kommt oder zu kommen braucht. — Auf die causa efficiens einer Empfindung des sensibeln Hautnerven können wir keine sehr weit gehenden Schlüsse bauen. Wir fühlen, ob kalt oder heiss, ob spitz oder stumpf, ob weich oder hart, und machen daraus gewisse Schlüsse auf die Ursache des Reizes, aber über die Richtung, in welcher ein mechanischer Reiz eingewirkt hat, ergiebt die Qualität der Empfindung in der Regel nichts.. Gehörsempfindungen localisiren wir höchst unvollkommen, aber nicht weil hier die objectivirende Thätigkeit eine andere ist, sondern weil das Material, welches der Hörnerv liefert, unzureichende Anhaltspunkte giebt. Die Natur der Schallstrahlen und unsers Gehörapparats ist es, die eine genaue Localisation der Gehörswahrnehmungen unmöglich macht. Anders bei Reizung der Sehnervenausbreitung. Hier ist das in der Empfindung gebotene Material derart, dass das Causalitätsgesetz noch weiter seine Wirkung entfalten kann, daher die weitere specialisirte Objectivirung. Das Gesehene, die Ursache der Gesichtsempfindung, wird localisirt, in die Aussenwelt verlegt. Das Zwischenglied, die Empfindung in der gereizten Netzhaut, kommt gar

nicht zum Bewusstsein. Der Verstand lehrt uns sogleich auf die letzte äussere Ursache schliessen. Wie wir die Reizung des sensibeln Hautnerven stets peripherisch empfinden, selbst wenn die Reizung eine centrale war oder in Verlauf der Nervenröhre geschah, so gehen wir beim Gesichtssinn noch weiter und verlegen die Reizursache ausser uns, mag sie nun an der Peripherie, im Centralorgan oder im Laufe des Nervenstammes einwirken. — Erfahrung und Uebung lehrt uns die Reizursache in bestimmter Richtung nach aussen zu projiciren, in der Richtung, die uns angegeben wird durch den Kreuzungspunkt der Visirlinien, dessen Lage wir wiederum durch die Spannungsverhältnisse der Augenmuskeln kennen. Es scheint mir nicht gar schwer, sich von der Art und Weise eine Vorstellung zu bilden, wie wir vor aller Uebung und Erfahrung zu der Kenntniss von der Lage des Kreuzungspunktes der Visirlinien gelangen. Das neugeborne Kind wird gewiss ebensowenig wie der blindgeborne, glücklich Operirte richtig nach aussen projiciren, muss sich vielmehr die Sicherheit erst allmählich durch den Gebrauch des Organs aneignen. Wenn es die empfindlichste Stelle der Netzhaut dem Tageslichte zukehrt, so ist dadurch die Richtungslinie des Sehens unmittelbar gegeben. Bei jeder Bewegung, welche nun das Auge vollführt, wandert das Bild des leuchtenden Punktes auf der Netzhaut. Ist nun der Ort der Lichtquelle und die Lage der neuerdings gereizten Netzhautstelle bekannt, so wird die geradlinige Verbindung beider zur Kenntniss des Kreuzungspunktes der Visirlinien führen. Derselbe befindet sich da, wo die letzte Linie die directe Sehlinie im Auge schneidet. Ich zweifle nicht, dass ein solches construirendes Verfahren, das in tausend Fällen immer und immer probirend wiederholt wird, zur richtigen Projection, zum richtigen räumlichen Sehen führt.

Die sinnlichen Momente, welche uns über die **Entfernung** eines gesehenen Punktes Aufschluss ertheilen, sind bei einem Auge bekanntlich sehr spärlich und ungenügend. Ueber diesen viel besprochenen Gegenstand führe ich, auf die frühere Besprechung im fünften Capitel mich beziehend, nur an, dass die Accommodation, d. h. das Bewusstsein der behufs Erzeugung eines optisch-scharfen Netzhautbildes aufgewandten Spannung des muskulären Einstellungsapparats noch relativ das sicherste Mittel ist zur Schätzung der Entfernung. Die neuen Untersuchungen Wundts*) zeigen indessen deutlich genug, wie höchst unzuverlässig und variabel auch dieses Mittel ist, und in der That haben wir im Gesichtssinne kein besseres. Nur mit Hülfe des Tastsinnes einerseits und geistiger Thätigkeit andrerseits, älterer Vorstellungen, Erfahrung, Kenntniss der gesehenen Objecte vermögen wir grossen Irrthümern zu entgehen. Kennen wir die Grösse eines Gegenstandes, so ist daraus auch

*) Zeitschrift für rationelle Medicin. Dritte Reihe. VII. 321.

bei Benutzung eines Auges mit Leichtigkeit auf die Entfernung zurückzuschliessen, aber für die genaue und richtige Abschätzung der Entfernung durch bloss sinnliche Momente bedürfen wir nothwendig des zweiten Auges. Man hat die Convergenz beider Sehaxen, resp. die Veränderungen derselben als besonders wichtig angeführt. Ohne Frage ist daran etwas Wahres, aber man hat das meist nicht richtig aufgefasst. Wie einflussreich auch die beiderseitige Fixation, und somit die Convergenzstellung ist, so liegt doch das Wesen der Sache nicht eigentlich darin. Die Bilder können in einem oder beiden Augen einigermassen excentrisch liegen, ohne dass die Beurtheilung der Entfernung dadurch beeinträchtigt wird; denn immer giebt das Dasein zweier Netzhautbilder zwei Richtungen, zwei geometrische Orte für jeden gesehenen Punkt an, und dadurch ist dessen Lage vollständig bestimmt. Je schärfer die Empfindung an den von dem Bilde getroffenen Netzhautstellen ist, um so sicherer wird freilich auch die Wahrnehmung sein, aber es handelt sich dabei doch mehr um die Details des betrachteten Objects, als um die Entfernung des Ganzen. Letztere wird auch ohne wirklich centrale Lage der Bilder doch sehr genau erkannt. Deutlich genug spricht für diese Auffassung das Telestereoskop. Die Stellung der Augen, die Convergenz ist bei der Benutzung des Instruments keine andre als beim Blick in die Ferne ohne dasselbe; auch braucht die Augenstellung während der Beobachtung nicht durch schnellen Wechsel der Fixationspunkte geändert zu werden. Dennoch ist in dem einen Falle die Tiefenwahrnehmung eine sehr prägnante, in dem andern eine sehr unvollkommene. Nicht die Augenstellung ist die Ursache davon, sondern das Vorhandensein zweier verschiedener Netzhautbilder, deren Projectionen durch Ziehung der Visirlinien zur räumlichen Deckung in verschiedenen Tiefenabständen gelangen.

Die accessorischen Hülfsmittel, welche nach den gewöhnlichen Angaben der Taxation der Entfernung dienen sollen, sind von sehr untergeordnetem Belange. Wo das Hauptmittel uns im Stich lässt, also bei sehr grossen Abständen der Sehobjecte, leisten auch die Nebenmittel nicht viel, und sind wenig zuverlässig. Beleuchtung, Schattengebung, Luftperspective, wie wichtig sie auch im Verein für das Verständniss der Gesichtsempfindungen sein können, geben doch leicht Anlass zu Täuschungen und können überdies nicht als sinnliche Momente in Anschlag gebracht werden. Ueberlegung und Gewohnheit spielen hier eine bedeutsame Rolle.

Mit der Richtung und Entfernung ist nun der Ort eines gesehenen Punktes bekannt, und alles räumliche Sehen ist in diesen beiden Elementen enthalten. Sobald wir von der Lage der einzelnen Punkte eines körperlichen Objects unterrichtet sind, so liegt darin schon die Ausdehnung nach drei Dimensionen, die eigentliche Körperlichkeit; es gehen daraus

unmittelbar die Dimensionen des Gegenstandes selbst hervor. Der Abstand eines Endpunktes eines Objects von dem andern, die Distance, welche wir schlechtweg die Grösse des Objects nennen, resultirt unmittelbar aus der Kenntniss der Lage der Bilder seiner Endpunkte auf den Netzhäuten. Die Grösse des Netzhautbildes, der Netzhautwinkel, oder der Gesichtswinkel, oder die scheinbare Grösse, welche Ausdrücke alle dasselbe besagen — geben mit der (vorzugsweise durch die Lage des zweiten Netzhautbildes bekannten) Entfernung das Material zur Schätzung der Grösse der Sehobjecte. Die wahrgenommene Grösse ist eine Function der scheinbaren Grösse und der Entfernung. Die Abhängigkeit ist eine sehr einfache. Für den Eall z. B., wo der in der Horizontalen befindliche Endpunkt eines senkrechten Gegenstandes fixirt wird, ist die wahrgenommene Grösse gleich der Entfernung multiplicirt mit der trigonometrischen Tangente des Gesichtswinkels. Die zu der Wahrnehmung erforderliche Construction oder Berechnung in abgekürztester Form auszuführen ist Sache des Verstandes, und zwar des in derlei Thätigkeit geübten Verstandes. Momente, welche einen von beiden Factoren beeinflussen, reflectiren sich auch in dem Product, dem Urtheil über die Grösse, daher z. B jede Täuschung über die Entfernung nothwendig mit einer Täuschung über die Grösse verknüpft ist.

Nach dieser Betrachtungsweise fällt die vieldiscutirte Frage über Grund des Aufrechtsehens trotz der verkehrten Netzhautbilder gar nicht in Betracht. Das constructive Verfahren, welches die wesentliche Thätigkeit des wahrnehmenden Verstandes ausmacht, löst jeden Zweifel augenblicklich. Durch das richtige Nachaussenversetzen des Netzhautbildes ist eben der Gegenstand ganz in seiner eigenen Form, Grösse, Lage, durch und für den Verstand reproducirt. Das verkehrte Netzhautbild wird gar nicht wahrgenommen; es gelangt nicht als solches ins Bewusstsein, sondern dient nur der räumlichen Objectivirung nach den vorhin aufgestellten Normen. Die stereoskopischen Versuche beweisen, dass der Verstand das körperliche Object mit solcher im Einzelnen zu verfolgenden Gesetzmässigkeit construirt, dass selbst widersinnige, unserer Erfahrung ganz fremde Objecte aufs Deutlichste wahrgenommen werden. Wie wenig allgemein diese einfachen Ueberlegungen sind, beweist z. B., dass noch in jüngster Zeit Panum mit grosser Entschiedenheit das körperliche Sehen fortwährend als eine Empfindung bezeichnet, und, damit jeder Zweifel fortfalle, dass er nicht eine Verstandesaction bloss incorrect mit dem Worte Empfindung bezeichne, spricht er mit aller Bestimmtheit von der eigenthümlichen und specifischen Sinnesenergie, die zur Tiefenwahrnehmung nöthig sei. Dieser und mancher anderen Unklarheit gegenüber wird es vielleicht Entschuldigung finden, wenn ich dem anscheinend so einfachen Verhältnisse mehr Raum gewidmet habe, als Manchem vielleicht nöthig erscheinen wird.

Ueber den Grund des Einfachsehens bei zwei Netzhautbildern habe ich oben (Cap. V.) so ausführlich gehandelt, dass ich hier nur resumire, dass vor Allem die gesetzmässige Aehnlichkeit der Netzhautbilder es ist, welche das Vereinigen, das körperliche Decken derselben, also die einfache Wahrnehmung im gemeinsamen Sehfelde ermöglicht, eine Aehnlichkeit, welche im einzelnen Falle nicht sowohl durch höher stehende Geistesthätigkeit erkannt zu werden braucht, sondern schon durch das gewohnheitsgemässe Vorhandensein „dominirender" Contouren auf den objectivirenden Verstand genügend einwirkt.

Nach diesen kurzen Andeutungen über das räumliche Sehen kehre ich zum Schluss noch einmal zu dem Identitätssatze zurück und frage, ob nach den vorangegangenen Erörterungen in demselben noch irgend ein richtiger Sinn entdeckt werden könne?

Ich habe vorhin bereits darauf hingewiesen, dass in der gewöhnlichen Fassung des vielerwähnten Satzes die Bezeichnung Ortsempfindung als ungehörig zu verwerfen ist. Ob aber auch — bei correcterem Ausdruck — gleiche Ortswahrnehmungen an bestimmte, einander zugeordnete Punkte der Netzhäute gebunden sein können, möge noch einer Betrachtung unterzogen werden. — Es ist dargelegt worden, dass die richtige Ortswahrnehmung bestehe und allein bestehe in der richtigen Wahrnehmung der Richtung und Entfernung, sei es nun, dass beide Augen benutzt werden, oder nur eines. Richtige Ortswahrnehmung mit beiden Augen ist also gleichbedeutend mit Einfachsehen mit beiden Augen, da die beiden richtig localisirten Sehobjecte sich im Raume decken müssen. Nun fügt man hinzu, die getroffenen Stellen der Netzhäute sollen aber auch identisch sein. Abgesehen davon, dass die Unmöglichkeit dieser Bedingung auf mathematischem Wege dargethan ist, so erkenne ich in jener Hinzufügung einen logischen Widerspruch. Ich möchte diesen in einem Vergleiche klar legen. Ein Dreieck sei gegeben durch seine drei Seiten. Fügt man nun noch hinzu, ein Winkel des Dreiecks solle eine bestimmte Grösse haben, so ist diese Bedingung entweder möglich, und dann ist der Zusatz überflüssig, weil die Grösse des betreffenden Winkels schon durch die Länge der Seite gegeben ist, oder die Bedingung ist unmöglich, den anderen Bedingungen widersprechend, wenn die verlangte Grösse nicht mit der Grösse eines der drei durch die Seiten vollständig bestimmten Winkels übereinstimmt. So auch in unserem Falle. Der wahrgenommene Ort ist ohne Berücksichtigung der Identitätsverhältnisse der Netzhäute bereits vollständig bestimmt. Kommt diese noch hinzu und soll auf die Localisirung von

Einfluss sein, so ist die neue Bedingung entweder schon in den alten enthalten, oder sie ist unmöglich, widersinnig. Das Letztere aber ist der Fall, die Hinzufügung ist eine widersinnige, keine bloss überflüssige, weil die binoculare richtige Ortswahrnehmung überhanpt gar nicht an bestimmte Punkte der Retinen gebunden war, weil das Einfachsehen nicht haftete an gewissen Elementen der Netzhäute, sondern daran, dass die jeweilige Stellung beider Netzhäute, sie sei, welche sie wolle, richtig gekannt, richtig beurtheilt werde.

Gedruckt bei E. Polz in Leipzig.

Fig. 1.

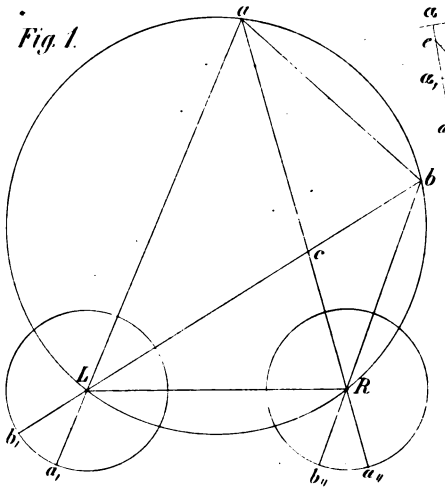


Fig. 5.

Fig. 2.

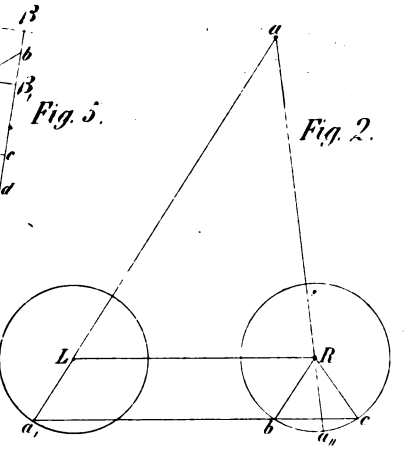


Fig. 6.

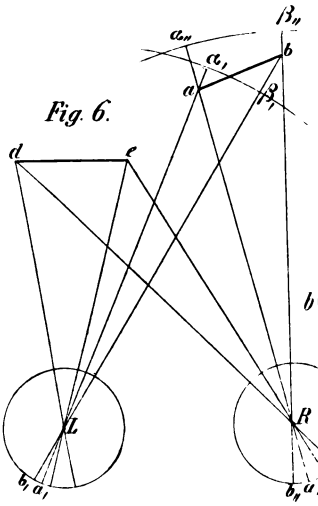


Fig. 3.

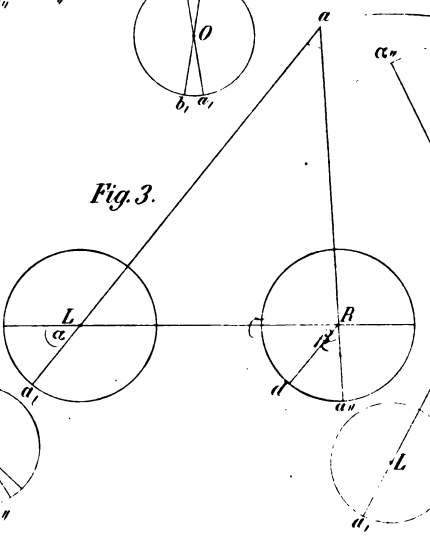


Fig. 7.

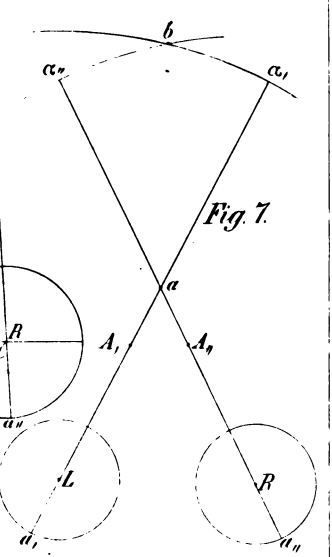
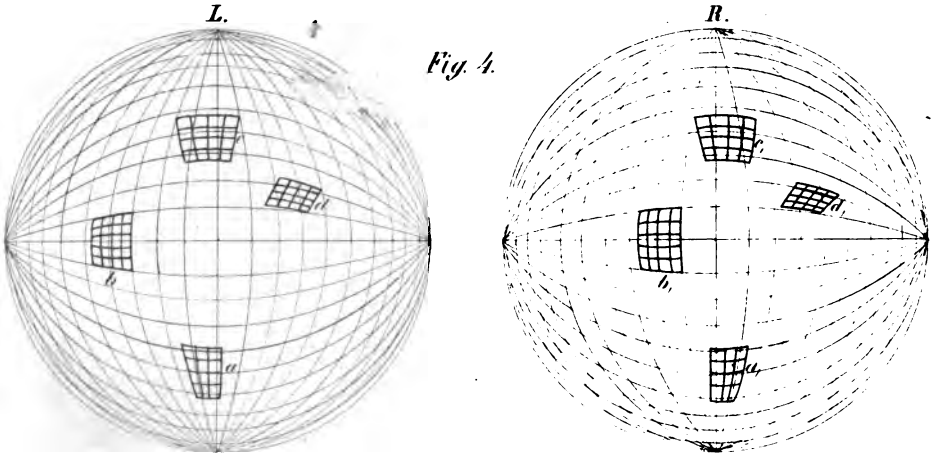
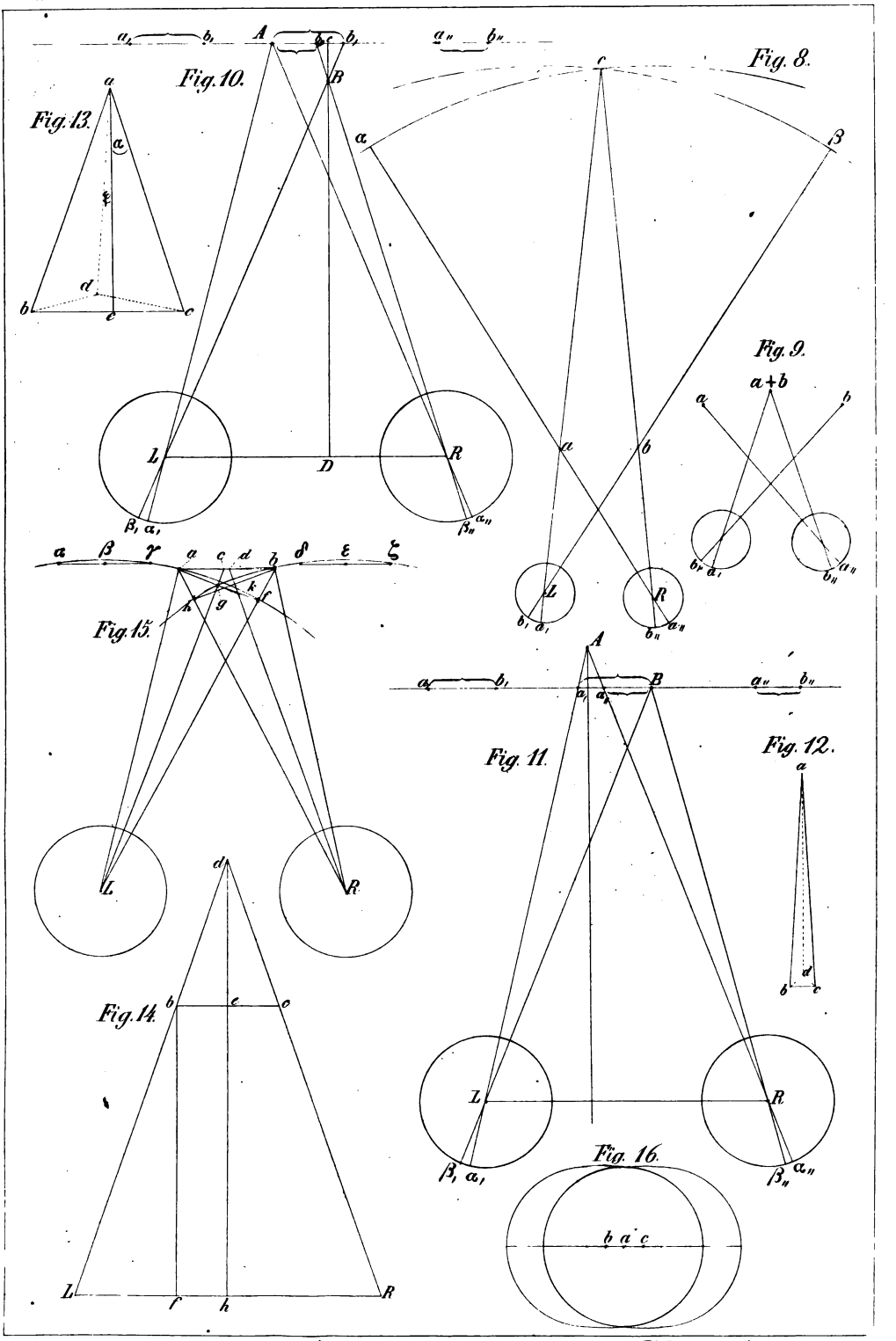


Fig. 4.





Lith. Anstv. A. Kupfer L.

Fig. 19.

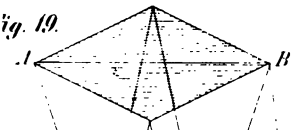


Fig. 21.

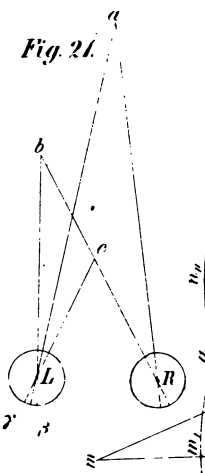
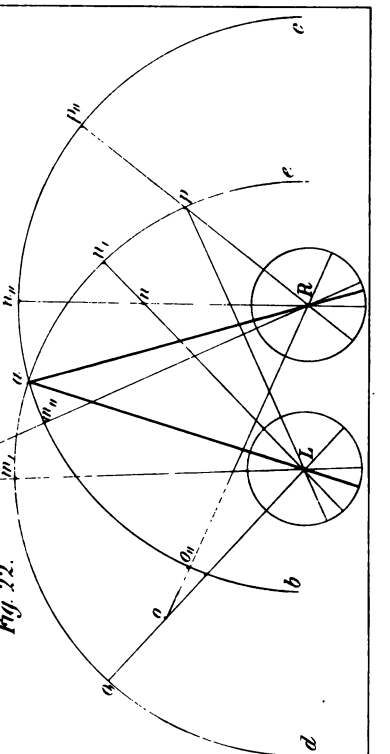


Fig. 22.



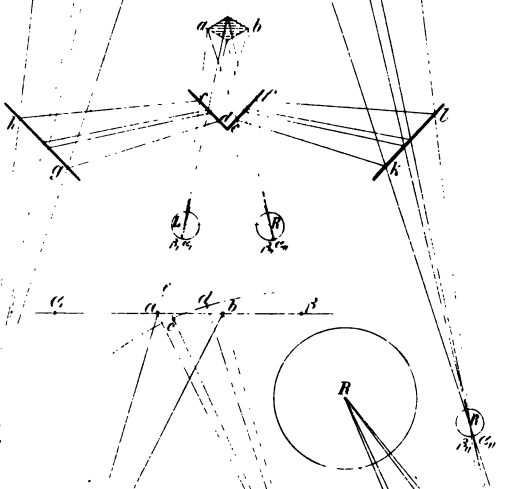


Fig. 17.

Fig. 18.

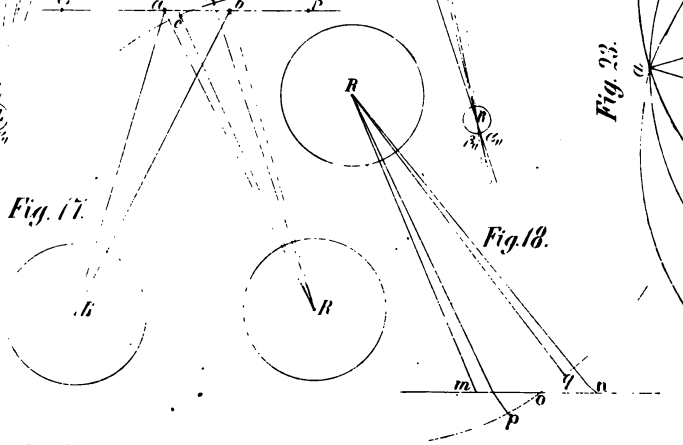
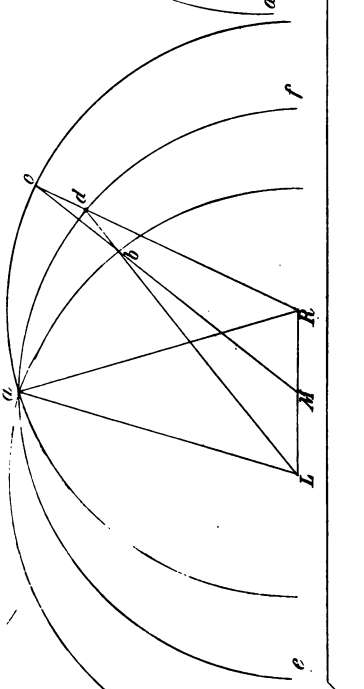
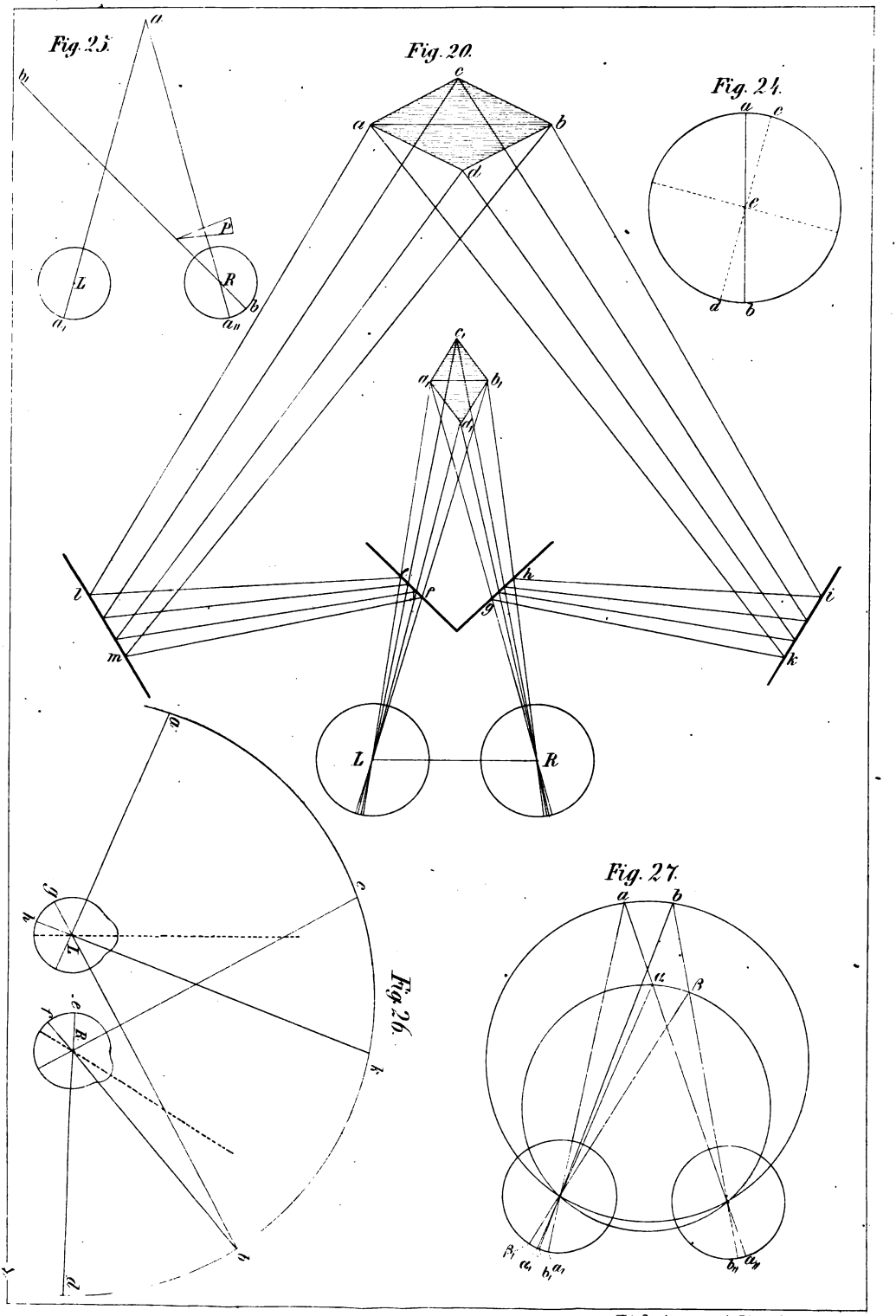
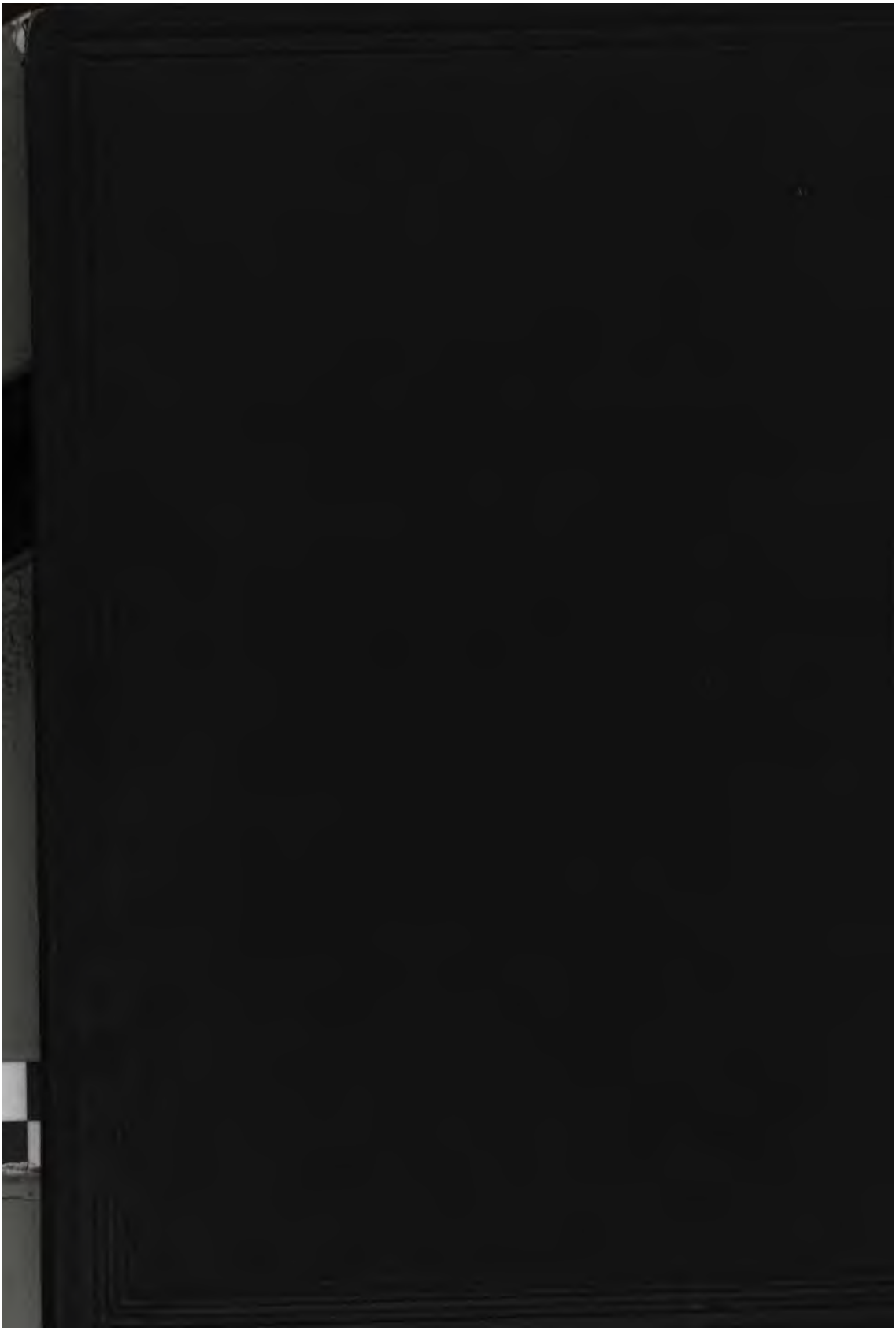


Fig. 23.



Lith. Anst. v. A. Kupferl



Lith. Anst. v. A. Kupfer Lpzg.